

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

**ESTUDO TÉRMICO E DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO DE CASAS
POPULARES COM BLOCOS CONFECCIONADOS A PARTIR DE UM COMPOSTO
A BASE DE CIMENTO, GESSO, EPS E RASPA DE PNEU**

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

como parte dos requisitos para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

André da Rocha Silva

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza

Natal, AGOSTO/2010

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

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

**ESTUDO TÉRMICO E DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO DE CASAS
POPULARES COM BLOCOS CONFECCIONADO A PARTIR DE UM COMPOSTO
A BASE DE CIMENTO, GESSO, EPS E RASPA DE PNEU**

ANDRÉ DA ROCHA SILVA

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA
sendo aprovada em sua forma final.**

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza – UFRN (orientador)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza – UFRN

Prof. Dr. José Ubiragi de Lima Mendes – UFRN

Prof. Dr. José de Anchieta Lima – IFRN

**Dedico este trabalho a todas as pessoas que,
de uma forma ou de outra, contribuíram
para que o mesmo obtivesse êxito.**

AGRADECIMENTOS

Antes que o faça a qualquer pessoa, devo apresentar minha homenagem a **Deus**, Supremo Arquiteto de todo o universo, sem a ajuda do qual, não seria possível a conclusão desta obra.

Aos meus familiares, em especial a minha esposa Marilu, aos meus filhos Gabriela e Izac, a Valdemar e Mirian, ao meu irmão Marcos, às minhas sogras Alda e Nazinha (mães natural e de criação de minha esposa) pela paciência, pelo incentivo e pela compreensão ao furtar-lhes a minha presença.

Agradeço ao Professor Luiz Guilherme Meira de Souza, o qual não só fez o esperado papel de orientador, como também, revelou-se um amigo incentivador à conclusão do presente trabalho nos momentos em que fraquejava e pensava em desistir.

Ao funcionário Aldo Paulino, técnico de Laboratório de Máquinas Hidráulicas, por não ter medido esforços em ajudar, realizando até mesmo tarefas que não seriam de sua alçada, auxiliando de modo decisivo no desenvolvimento de todas as atividades práticas.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM/UFRN, pela oportunidade que me foi ofertada para a realização deste mestrado.

A todos os demais professores que, de formas variadas, ajudaram na realização e conclusão do presente trabalho.

Ao Laboratório de Mecânica dos Fluidos, o qual viabilizou grande parte dos testes e ensaios, bem como, disponibilizou equipamentos para a realização dos mesmos.

Aos colegas de mestrado, Reginaldo, Iverton, Elmo, Mailson Aroldo e Ribeiro, ao graduando Tyeno e ao amigo Wilson, os quais ajudaram na construção e/ou realização dos ensaios.

A todos aqueles que participaram de uma maneira direta ou indireta, na elaboração deste trabalho, cujos nomes, agora me fogem à memória.

RESUMO

Foi construída uma casa experimental em um terreno da UFRN a partir de blocos confeccionados com um compósito constituído de cimento, gesso, EPS, borracha triturada e areia. Foram confeccionados diversos blocos a partir de composições variadas e foram efetuados testes preliminares de resistência mecânica e térmica, escolhendo-se a proporção mais apropriada. Foram utilizadas garrafas PET no interior dos blocos a fim de proporcionar resistência térmica. Neste trabalho, uma segunda função foi conferida às garrafas: a de servir de encaixe entre os blocos, pois as extremidades das garrafas saíam de cada bloco tanto na parte superior, como também na inferior, sendo a extremidade inferior seccionada, permitindo o encaixe das extremidades superiores das garrafas de um bloco nos orifícios inferiores de outro bloco, os quais foram formados pela secção acima mencionada. Foram realizados ensaios de compressão mínima segundo as normas da ABNT para blocos destinados ao fechamento de paredes (blocos de vedação). Construída a referida casa, foram realizados estudos de desempenho térmico a fim de averiguar as condições de conforto, verificando-se as temperaturas externa e interna nas paredes e a temperatura ambiente, dentre outras variáveis, tais como a velocidade do vento e a umidade relativa do ar. Os blocos confeccionados proporcionaram isolamento térmico adequado para o ambiente, apresentando as paredes diferenças de até 11,7° C entre as faces externa e interna, ficando a temperatura máxima interna da casa em torno de 31°C, dentro da chamada zona de conforto térmico para regiões de clima quente. Ao término dos experimentos, ficou evidente a eficácia da construção no sentido de proporcionar conforto térmico no ambiente interno da casa, bem como foi confirmada a viabilidade da construção de casas populares a partir de materiais recicláveis, reduzindo-se o custo construtivo, sendo uma alternativa apropriada para famílias de baixa renda. Ademais, além do baixo custo, a proposta representa uma alternativa para o aproveitamento de diversos materiais recicláveis, sendo ecologicamente correta.

Palavras chaves: casas populares, baixa renda, compósito, conforto térmico, materiais recicláveis.

ABSTRACT

We built an experimental house on an UFRN's land using blocks made by a composite consisting of cement, plaster, EPS, crushed rubber and sand. Several blocks were made from various compositions and we made preliminary tests of mechanical and thermal resistance, choosing the most appropriate proportion. PET bottles were used inside the block to provide thermal resistance. In this work, a second function was given to the bottles: to serve as a docking between the blocks, because the ends of the cylinders came out of each block on top as well as at the bottom, with the bottom cut, allowing to fit of the extremities of the upper cylinder of a block in the lower holes of the other one, which were formed by the cutting already mentioned. Minimum compression tests were performed according to ABNT standards for walls closing blocks (fence). With that house built, we did studies of thermal performance in order to ascertain conditions of comfort, checking external and internal temperatures in the walls and in the ambient, among other variables, such as wind speed and relative humidity. The resulting blocks provided adequate thermal insulation to the environment, where the walls presented differences up to 11.7 °C between the outer and inner faces, getting the maximum temperature inside the house around 31 °C, within the so-called thermal comfort zone for warm climates. At the end of the experiments it was evident the effectiveness of that construction in order to provide thermal comfort in the internal environment of the house, as well as we could confirm the viability of building houses from recyclable materials, reducing the constructive costs, becoming a suitable alternative for low-income families. Moreover, besides the low cost, the proposal represents an alternative use of various recyclable materials, therefore considered an ecological solution.

Keywords: housing, low income, composite, thermal comfort, recyclable materials.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Apresentação do trabalho	1
1.2. Objetivos	6
1.2.1 Objetivo geral	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1. O EPS (Isopor)	8
2.1.1. As principais características do EPS	9
2.1.2. O uso do EPS na construção civil	11
2.2. O Gesso	13
2.2.1. A história do gesso	13
2.2.2. A utilização do gesso no Brasil e no Rio Grande do Norte	14
2.2.3. As propriedades do gesso	15
2.2.4. O uso do gesso na construção civil	16
2.3. O material PET (polietileno tereftalato) e suas características	18
2.3.1. Reação de obtenção do PET	19
2.3.2. A questão ambiental	20
2.4. Cimento Portland	22
2.5. Resíduos de pneus	26
2.5.1. Resíduos de pneus na construção civil	27
2.5.2. Trituração de pneus	27
2.6. A Areia	28
2.7. Os materiais compósitos	29
2.8. Conforto térmico	31
2.8.1. Índice de conforto térmico	34
2.8.2. Classificação dos índices de conforto	35
2.8.3. Escolha do índice de conforto	35
2.8.4. Normas e metodologias para avaliar o desempenho térmico	36
2.8.5. Outras normas ou recomendações	37
2.8.6. Norma ISO 7730	38
3. MATERIAIS E MÉTODOS	40

3.1. Composição do bloco	40
3.2. Origem das matérias primas utilizadas na confecção do bloco	40
3.3. Confecção dos blocos	43
3.4. Construção da casa experimental	46
3.5. Determinação das propriedades termofísicas do compósito	49
3.6. Propriedades mecânicas e outras propriedades do compósito	50
3.6.1. Ensaio de resistência à compressão	50
3.6.2. Densidade e porosidade	51
3.7. Área de estudo - A cidade de Natal-RN	52
3.8. Desempenho térmico e de conforto da unidade habitacional	53
3.8.1. Zona de conforto considerada	54
3.8.2. Levantamento dos dados para análise do conforto térmico	54
3.9. Comparativo de valores: blocos de compósito X tijolos cerâmicos	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1. Ensaio realizados para determinação das propriedades	56
4.1.1. Condutividade térmica	56
4.1.2. Ensaio de resistência à compressão	57
4.1.3. Densidade e porosidade do compósito	58
4.2. Análise do desempenho do cômodo experimental	59
4.2.1. Análise do comportamento da temperatura nas paredes	59
4.2.2. Temperatura do ar	64
4.2.3. Umidade relativa do ar	65
4.3. Análise dos sistemas de construção empregados	66
4.4. Análise econômica	67
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	70
5.1. Conclusões	70
5.2. Sugestões	71
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Unidades habitacionais improvisadas: Comunidade Passo da Pátria (Natal-RN)	1
Figura 2. Estimativa (%) do déficit habitacional básico nas capitais brasileiras – 2000	
Fonte: Déficit Habitacional no Brasil – 2005 (Fundação João Pinheiro)	2
Figura 3. Concentração relativa do déficit habitacional básico por bairro – Natal 2000	
Fonte: IBGE/Déficit Habitacional no Brasil - 2005 (Fundação João Pinheiro)	3
Figura 4. Fórmula estrutural da cadeia de poliestireno	8
Figura 5. Resistência à compressão do EPS. Fonte: www.abrapex.com.br	11
Figura 6. Fórmula estrutural do etileno tereftalato	18
Figura 7. Garrafas PET de diferentes tamanhos e modelos	18
Figura 8. Reação para obtenção do PET	19
Figura 9. Exemplo de residência em construção utilizando garrafas PET em substituição aos tradicionais tijolos cerâmicos.	22
Figura 10. Pacotes com cimento Portland	23
Figura 11. Fornos Rotativos de Cimento - Holcim - Bélgica	25
Figura 12. Borracha vulcanizada: 1 milhão de anos para se degradar no meio ambiente	26
Figura 13. Embalagens de EPS usadas como matéria prima para produção do compósito	40
Figura 14. Triturador de EPS - Laboratório de Máquinas Hidráulicas (UFRN)	41
Figura 15. EPS triturado para ser usado no compósito	41
Figura 16. Dimensional dos blocos	42
Figura 17. Componentes da forma	43
Figura 18. Montagem da base e paredes laterais da forma	43
Figura 19. Montagem final da forma	43
Figura 20. Preparação e montagem das garrafas	44
Figura 21. Posicionamento das garrafas no interior da forma	44
Figura 22. Forma pronta para receber o compósito	44
Figura 23. Mistura seca do compósito	45
Figura 24. Preparação do compósito	45
Figura 25. Enchimento da forma com o compósito	45
Figura 26. Compósito aguardando tempo de cura para o desenforme	46
Figura 27. Bloco após desenforme e corte do fundo das garrafas inferiores	46
Figura 28. Planta baixa e localização dos Pontos de Medição	47

Figura 29. Montagem (encaixe) dos blocos a serem utilizados na edificação proposta	48
Figura 30. Vista da parede “Leste” com todos os blocos assentados	48
Figura 31. Vista das paredes Leste e Sul com todos os blocos assentados	48
Figura 32. Telha de fibrocimento utilizada como cobertura da unidade habitacional	49
Figura 33. Instrumento alternativo para medir de modo indireto a condutividade térmica	49
Figura 34. <i>Instrutherm</i> – Instrumento utilizado para medir a radiação solar	50
Figura 35. Mapa do estado do Rio Grande do Norte destacando Natal	53
Figura 36. Zona Bioclimática 8, área hachurada, conforme NBR 15220-3/2005	54
Figura 37. Temperaturas médias observadas em ambas as faces das paredes entre 9:00 e 10:30	61
Figura 38. Temperaturas médias observadas em ambas as faces das paredes entre 10:30 e 12:00	62
Figura 39. Temperaturas médias observadas em ambas as faces das paredes entre 12:00 e 13:30	62
Figura 40. Temperaturas médias observadas em ambas as faces das paredes entre 13:30 e 15:00	62
Figura 41. Comportamento das temperaturas externa e interna - Parede Sul	63
Figura 42. Comportamento das temperaturas externa e interna - Parede Leste	63
Figura 43. Comportamento das temperaturas externa e interna - Parede Norte	64
Figura 44. Comportamento das temperaturas externa e interna - Parede Oeste	64
Figura 45. Médias de temperaturas do ar interno, externo e sensação térmica	65
Figura 46. Médias das velocidades do ar externo e interno à casa	65
Figura 47. Umidade relativa medida ao longo do horário analisado	66
Figura 48. Molde de aço confeccionado para substituir o de madeira	67
Figura 49. Molde de aço desmontado	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites de conforto térmico para várias metodologias. Fonte: Santos, 2008b	39
Tabela 2. Valores de resistência à compressão mínima segundo norma da ABNT	51
Tabela 3. Compósito 0,67 parte de cimento e 1 parte de cada um dos demais componentes	56
Tabela 4. Compósito de iguais proporções entre os componentes	56
Tabela 5. Valores de condutividade térmica de alguns materiais comuns na construção civil	57
Tabela 6. Valores de resistência à compressão das composições ensaiadas	57
Tabela 7. Densidade no desenforme, densidade aparente e massa de água perdida	58
Tabela 8. Valores de densidade aparente, densidade real e porosidade	59
Tabela 9. Temperaturas das superfícies interna e externa das paredes analisadas	60
Tabela 10. Valores comparativos: bloco confeccionado com compósito X tijolo cerâmico	68

NOMENCLATURA

K é a condutividade térmica ($\text{W/m}^\circ\text{C}$);

P é a radiação por medida de área (W/m^2);

L é o comprimento linear do corpo de prova (m);

ΔT é a variação de temperatura observada ($^\circ\text{C}$);

ρ_a é a densidade aparente do compósito (g/cm^3);

m é a massa medida em balança (g);

v_s é a volume de sólidos (cm^3);

v_p é a volume de poros (cm^3);

ρ_r é a densidade real do compósito (g/cm^3);

v_f é a volume da proveta com corpo de prova mergulhado (cm^3);

v_i é a volume inicial da proveta (cm^3);

η é a porosidade do compósito;

RC é a resistência à compressão sofrida pelo corpo de prova (MPa);

T_{e1} é a Temperatura da face externa da parede SUL ($^\circ\text{C}$);

T_{i1} é a Temperatura da face interna da parede SUL ($^\circ\text{C}$);

$T_{e1} - T_{i1}$ é a diferença de temperatura entre as faces externa e interna da parede SUL ($^\circ\text{C}$);

T_{e2} é a Temperatura da face externa da parede LESTE ($^\circ\text{C}$);

T_{i2} é a Temperatura da face interna da parede LESTE ($^\circ\text{C}$);

$T_{e3} - T_{i3}$ é a diferença de temperatura entre as faces externa e interna da parede LESTE ($^\circ\text{C}$);

T_{e3} é a Temperatura da face externa da parede NORTE ($^\circ\text{C}$);

T_{i3} é a Temperatura da face interna da parede NORTE ($^\circ\text{C}$);

$T_{e3} - T_{i3}$ é a diferença de temperatura entre as faces externa e interna da parede NORTE ($^\circ\text{C}$);

T_{e4} é a Temperatura da face externa da parede OESTE ($^\circ\text{C}$);

T_{i4} é a Temperatura da face interna da parede OESTE ($^\circ\text{C}$);

$T_{e4} - T_{i4}$ é a diferença de temperatura entre as faces externa e interna da parede OESTE ($^\circ\text{C}$);

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

AMN – Asociación Mercosur de Normalización;

ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído;

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning;

ASTM – American Society for Testing and Materials;

BS – British Standards Institution;
CFN
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente;
DIN – Deutsches Institut für Normung;
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral;
ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído;
EPS – Expanded polystyrene (Poliestireno expandido);
FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos;
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis;
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial;
INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial;
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada;
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas;
ISO – International Organization for Standardization;
ITEP - Instituto de Tecnologia de Pernambuco;
LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações;
PET - Politereftalato de etileno;
TBS – Temperatura de Bulbo Seco
UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte;
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina;
UR – Umidade Relativa do ar
USP – Universidade de São Paulo.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do trabalho

O valor do déficit habitacional brasileiro ainda não é consensual entre os pesquisadores. Dados do Ministério das Cidades de 2005 estima que o déficit de novas moradias no Brasil seja de 7,2 milhões de unidades e que 84% dessa demanda sejam de famílias com renda mensal não superior a três salários mínimos (BARROSO, 2006).

Estes valores dependem da metodologia do levantamento, e do conceito de déficit empregado pela pesquisa. Muito pouco tem sido feito pelo Governo para amenizar esta situação. A grande demanda aliada a um clima ameno em quase todo país e uma falta de legislação apropriada tem levado a que construções direcionadas a suprir o mercado de baixa renda tenham um comportamento térmico inadequado.

Déficit habitacional é uma expressão que se refere à quantidade de cidadãos sem moradia adequada em uma determinada região. Os critérios para definir o que seria "moradia adequada" variam. O economista Robson Gonçalves, do IPEA, utiliza três critérios para definir moradia inadequada:

- a rusticidade das estruturas físicas das habitações (uso de materiais não-duráveis e/ou improvisados);
- a moradia não ser originariamente construída para habitação, adquirindo essa função apenas de forma esporádica ou improvisada;
- a coabitação (a existência de mais de uma família por residência).

Um estudo realizado pelo IBGE em 2006 separa as moradias em dois grupos: as que faltam para atender à população e aquelas consideradas inadequadas. Abaixo, na Figura 1, são apresentadas unidades habitacionais localizadas na Comunidade Passo da Pátria (Natal-RN), edificadas com materiais improvisados.



Figura 1: Unidades habitacionais improvisadas: Comunidade Passo da Pátria (Natal-RN)

Para definir o que é déficit habitacional, a pesquisa leva em conta vários indicadores, como coabitação familiar, ou seja, mais de uma família vivendo sob o mesmo teto, ou ainda o peso do aluguel na renda familiar, considerado em situação de famílias residentes em áreas urbanas, com renda média de até três salários mínimos, que está mais de 30% comprometida com o pagamento do aluguel (SANTOS, 2008).

Também entram no cálculo de carência habitacional casas ou apartamentos alugados com adensamento excessivo, nos quais mora um número muito grande de pessoas.

Em 2000, Natal apresentava um déficit habitacional básico estimado em 24.848 domicílios, que correspondia a 14% do total dos domicílios particulares permanentes, com maior parcela destinada ao componente coabitação familiar, que deteve 23.857 domicílios, cerca de 96% do déficit total.

O restante do déficit foi devido aos domicílios improvisados, com 587 (2,4%), e aos domicílios rústicos, que obteve 404 (1,6%). No ranking do déficit habitacional básico relativo entre as capitais do país e o Distrito Federal, Natal ocupa a 14ª posição e entre as capitais da região Nordeste a 3ª posição, com as menores carências habitacionais. Perde somente para Salvador e Aracaju, que obtiveram déficit habitacional de 12,5%, e 13%, respectivamente, conforme é apresentado na Figura 2 (BARROSO, 2006).

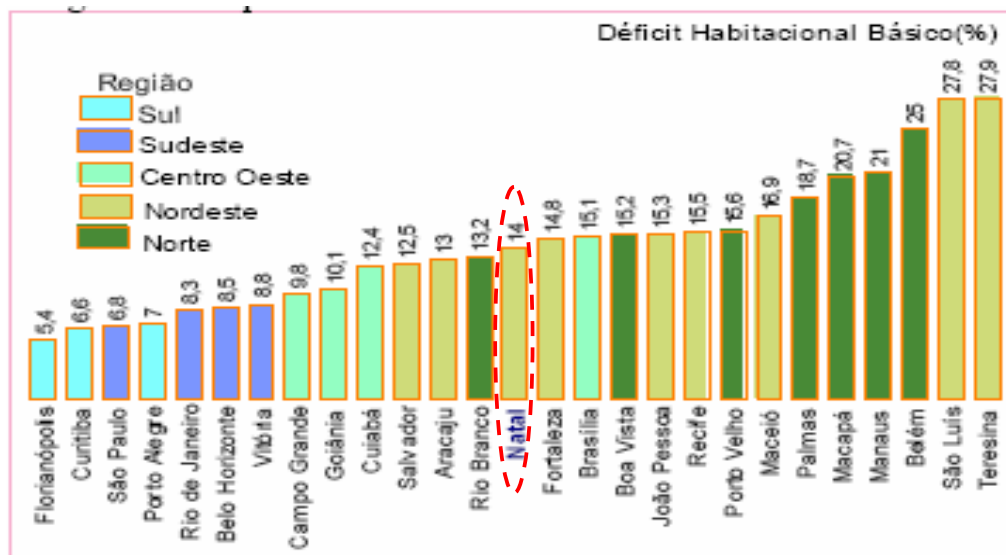


Figura 2. Estimativa (%) do déficit habitacional básico nas capitais brasileiras - 2000

Fonte: Déficit Habitacional no Brasil - 2005, Fundação João Pinheiro

Atribuindo o coeficiente $C = 1$ para o percentual 14% (valor do déficit habitacional de Natal) e, comparando com os diversos bairros de Natal, os bairros com déficits relativos maiores do que o de Natal ($C > 1$), ou seja, com as maiores concentrações de domicílios caracterizados como déficit, foram os seguintes:

- Leste: Alecrim, Areia Preta, Barro Vermelho, Cidade Alta, Lagoa Seca, Mãe Luíza,
- Petrópolis, Praia do Meio, Ribeira, Rocas e Santos Reis;
- Oeste: Cidade da Esperança, Dix-Sept Rosado, Nossa Senhora de Nazaré e Quintas;
- Sul: Lagoa Nova e Nova Descoberta;

As regiões norte e sul tiveram déficits relativos inferiores ao de Natal, embora tenham superado em dois bairros da região sul (Lagoa Nova, e Nova Descoberta), conforme é apresentado na Figura 3.

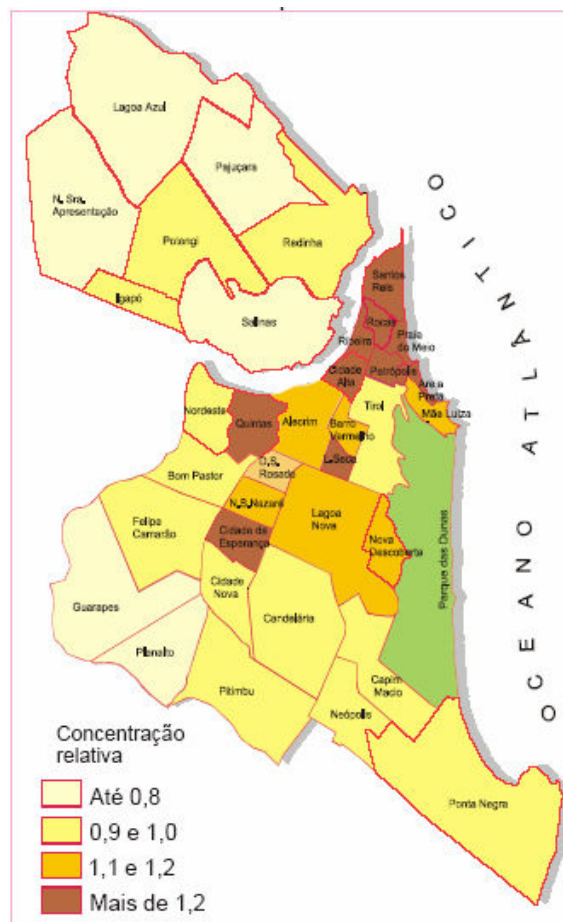


Figura 3: Concentração relativa do déficit habitacional básico por bairro - Natal 2000

Fonte: IBGE/Déficit Habitacional no Brasil - 2005 (Fundação João Pinheiro)

No Brasil, há um grande número de famílias que vive em condições inadequadas quanto à alimentação, educação, saneamento e hábitat. Visando ao suprimento dessas carências, muitos programas públicos têm sido criados, com o objetivo de construir e oferecer habitações de interesse social, com as condições mínimas desejáveis às famílias de baixa renda (MENEZES, 2006).

O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais de construção constitui o ponto de partida para abordagem do problema da transferência de calor através dos fechamentos opacos das edificações. Assim, escolhendo-se corretamente o tipo de material a ser utilizado nas construções, pode-se chegar à concepção de sistemas alternativos capazes de reduzir a parcela da carga térmica solar que é transmitida para o interior das habitações (BEZERRA, 2003).

Na região Nordeste, devido à elevada intensidade da radiação solar, o fluxo de calor através dos fechamentos opacos pode chegar a 560 W/m^2 , representando, portanto, uma importante parcela de carga térmica nas edificações. O desconforto causado por essa situação é bem conhecido. As alternativas para enfrentar o problema constam de modificações que vão desde a concepção do projeto até a substituição dos materiais convencionais utilizados na construção civil (BEZERRA, 2003).

Segundo define a ASHRAE, na norma 55/81, conforto térmico é o estado de espírito que expressa a satisfação com o ambiente térmico. Essa sensação de bem estar térmico do corpo humano dependerá da atuação do sistema termorregulador para a manutenção do equilíbrio térmico, pois quanto maior for o trabalho desse sistema, maior a sensação de desconforto.

O equilíbrio térmico entre o corpo e o ambiente dependerá de fatores ambientais (temperatura do ar radiante, temperatura radiante térmica, umidade relativa e ventilação) e fatores individuais (atividade desenvolvida, taxa de metabolismo e resistência térmica da roupa). A combinação dessas variáveis, mesmo que diferentes, irão proporcionar sensações semelhantes, que é a sensação de conforto térmico.

O conforto térmico de um ambiente é essencial para a sensação de bem estar, humor e bom desenvolvimento das atividades dos usuários. Situações de desconforto, causadas sejam por temperaturas extremas, falta de ventilação adequada, umidade excessiva combinada com temperaturas elevadas, ou radiação térmica devida a superfícies aquecidas, podem ser bastante prejudiciais. Alguns efeitos físicos desse desconforto podem ser sonolência, alteração de batimentos cardíacos e aumento de

sudação. Psicologicamente também se observam alguns efeitos como a apatia e desinteresse pelo trabalho (BARBOSA e LAMBERTS, 2002).

Convém ressaltar que devido à variação biológica entre as pessoas, é impossível que todos os ocupantes do ambiente se sintam confortáveis termicamente, e assim busca-se criar condições de conforto para o grupo, ou seja, condições nas quais a maior percentagem do grupo esteja em conforto térmico (BARBOSA e LAMBERTS,2002).

Nas duas últimas décadas, as facilidades proporcionadas pelos sistemas de ventilação e climatização artificiais induziram uma despreocupação com o consumo de energia elétrica para obtenção de conforto térmico. Nesse período, a construção civil concebeu ambientes onde o conforto térmico dependia exclusivamente desses sistemas. Atualmente, as edificações são responsáveis por 42% do consumo de energia elétrica, sendo parte desse consumo devido aos sistemas mecânicos de climatização (SANTOS, 2008).

A busca de um material que possa ser usado nessas edificações que seja um isolante térmico tem merecido destaque em pesquisas científicas, visando um material que tenha as características de boa eficiência térmica, boa resistência e baixo custo.

O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais de construção constitui o ponto de partida para abordagem do problema da transferência de calor através dos fechamentos opacos das edificações. Assim, escolhendo-se corretamente o tipo de material a ser utilizado nas construções, pode-se chegar à concepção de sistemas alternativos capazes de reduzir a parcela da carga térmica solar que é transmitida para o interior das habitações.

Existem várias formas de reduzir a taxa de transferência de calor através de paredes finalizando a obtenção de conforto térmico. Na pesquisa desenvolvida, é considerada a propriedade de isolamento térmico de blocos confeccionados a partir de um compósito constituído, dentre outras matérias-primas, de gesso e resíduos de isopor, buscando vantagens do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

No intuito de reduzir o custo da edificação de uma residência e, com isto, contribuir com os esforços já existentes no sentido de reduzir o déficit habitacional, foi desenvolvido um compósito constituído de raspa de pneu, gesso, EPS, cimento, areia. Com este compósito, foram construídos blocos com encaixes proporcionados por garrafas PET introduzidos no bloco, facilitando a montagem e permitindo a construção de residências em regime de mutirão.

Compósitos semelhantes, já foram desenvolvidos, bem como, blocos com garrafas PET em seu interior. As principais inovações apresentadas neste trabalho são:

- A utilização das garrafas como encaixe, reduzindo o custo com argamassa;
- A utilização de raspa de pneu, finalizando o isolamento estrutural da edificação, reduzindo a propagação de tensões.

O uso de garrafas PET, bem como, da raspa de pneu, também contribuem na retirada destes resíduos do meio ambiente, proporcionando-lhes uma destinação adequada.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Demonstrar a viabilidade de utilização do bloco de vedação proposto na construção de casas para famílias de baixa renda, através da análise do comportamento térmico do compósito, da análise de materiais e da viabilidade econômica.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Fazer uma revisão bibliográfica da utilização de materiais compósitos para a construção de residências;
2. Determinar qual o percentual em volume dos elementos constituintes do compósito que proporcionam uma melhor compatibilidade entre as propriedades térmicas e mecânicas;
3. Construir uma unidade habitacional utilizando os blocos de vedação propostos;
4. Realizar a análise de viabilidade econômica, comparando o custo desta com a construção utilizando alvenaria tradicional (tijolo cerâmico de oito furos);
5. Avaliar o conforto térmico no interior da casa construída;

A presente dissertação é composta por cinco capítulos, os quais tratam dos seguintes assuntos:

Justificativa para o estudo, seus objetivos gerais e específicos e as suas principais inovações – Capítulo 1;

Estudo de projetos assemelhados com relação à utilização de materiais recicláveis na construção de casas para famílias de baixa renda, como também de projetos que visem o conforto térmico – Capítulo 2;

Apresentação dos insumos utilizados no projeto, das técnicas construtivas e dos ensaios realizados no bloco e na edificação – Capítulo 3.

Apresentação dos resultados obtidos nos ensaios realizados e discussão destes – Capítulo 4.

Finalmente são apresentadas de forma global as conclusões das análises realizadas e algumas sugestões, face ao obtido – Capítulo 5.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A humanidade experimentou um esplêndido crescimento econômico ao descobrir meios de utilizar a energia proveniente dos combustíveis fósseis, porém, não se preocupava com a geração de resíduos e o impacto que os mesmos poderiam causar ao meio ambiente. Somente na segunda metade do século passado, com a crise do petróleo, a dificuldade na destinação dos resíduos e o início das alterações climáticas observadas, o homem começou a utilizar energias alternativas e a reciclar materiais.

Ainda hoje, a utilização de energias alternativas, embora crescente, esbarra nos interesses dos governantes, em especial das super potências, porém, cresce a galope a reutilização de materiais descartados em diversos seguimentos industriais como forma de redução dos custos de produção, é a chamada reciclagem. A utilização de materiais reciclados ainda é limitada pela deficiência de políticas públicas de coleta seletiva, como também pela falta de conscientização da população em geral, sendo um desafio para a atual geração a disseminação da prática desses conceitos.

Uma vez que o compósito utilizado na edificação da casa experimental é constituído por vários materiais, faz-se necessária uma abordagem a respeito destes componentes e de suas utilizações para estudos similares.

2.1. O EPS (Isopor)

EPS é a sigla internacional do Poliestireno Expandido, de acordo com a Norma ISO 1043-1:2001. No Brasil, é mais conhecido como "Isopor®", marca registrada da Knauf Isopor Ltda., e designa, comercialmente, os produtos de poliestireno expandido, comercializados por essa empresa. Em Portugal é conhecido pelo nome de "esferovite". O EPS foi descoberto em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz, quando trabalhavam nos laboratórios da Basf, na Alemanha. Na Figura 4 é mostrado um monômero da cadeia de poliestireno.

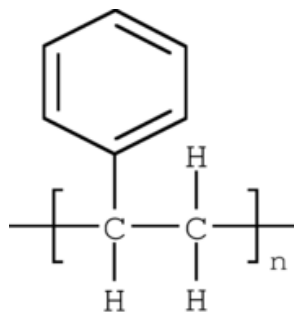


Figura 4. Fórmula estrutural da cadeia de poliestireno.

O EPS é um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água. Em seu processo produtivo não se utiliza e nunca se utilizou o gás CFC ou qualquer um de seus substitutos. Como agente expensor para a transformação do EPS, emprega-se o pentano, um hidrocarboneto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, sem comprometer o meio ambiente (ABRAPEX, 2010).

O produto final é composto de pérolas com até 3 milímetros de diâmetro, que se destinam à expansão. No processo de transformação, essas pérolas são submetidas à expansão em até 50 vezes o seu tamanho original, através de vapor, fundindo-se e moldando-se em formas diversas.

Os produtos finais de EPS são inodoros, não contaminam o solo, água e ar, são 100% reaproveitáveis e recicláveis e podem voltar à condição de matéria-prima. O EPS tem inúmeras aplicações em embalagens industriais, artigos de consumo (caixas térmicas, pranchas, portagelo etc.) e até mesmo na agricultura. É na construção civil, porém, que sua utilização é mais difundida. O EPS é comprovadamente um material isolante. Sem ele, os países mais evoluídos não construiriam de modo atualizado e econômico, visando a economia de energia.

Nos últimos 35 anos esse material ganhou uma posição estável na construção civil, em especial na construção de prédios, em que as características mecânicas das placas e chapas (materiais considerados bidimensionais) utilizadas nos projetos são padronizadas, não apenas por suas características isolantes, mas também por sua leveza, resistência, facilidade de manuseio e baixo custo.

Sendo um material plástico na forma de espuma com microcélulas fechadas, composto basicamente de 2% de poliestireno e 98% de vazios contendo ar, na cor branca, inodoro, reciclável, fisicamente estável, é sem dúvida um material isolante da melhor qualidade nas temperaturas de -70° a 80° Centígrados.

Resistente, fácil de cortar, leve e durável, é o melhor material para preenchimento de rebaixos ou vazios necessários a vários processos construtivos, principalmente lajes e painéis pré-fabricados ou semi industrializados. Pelas mesmas qualidades pode ser a solução para aterros estáveis sobre solos frágeis.

O EPS não é biodegradável, mas é reciclável. Processadores reciclam sobras de produção e corte de blocos, para serem usadas com grandes vantagens em outros produtos.

2.1.1. As principais características do EPS

As principais características do isopor e que lhe concedem uma grande versatilidade de utilização, são (SOUZA et al, 2006b).

Baixa condutibilidade térmica – A propriedade mais importante do EPS é sua capacidade de resistir à passagem do calor. Isto se deve a sua estrutura celular, que é constituída por milhões de células fechadas com diâmetros de alguns décimos de milímetros e com paredes de 1,0 mm. Esta espuma é composta de aproximadamente por 2% de poliestireno e 98% de ar. Assim o fator decisivo para a boa capacidade de isolamento térmico o EPS é o de manter, permanentemente, uma grande quantidade de ar, quase imóvel, dentro das suas células. A capacidade de isolamento térmico é expressa no Coeficiente de Condutibilidade Térmica (K), habitualmente medido em $[W/m^{\circ}C]$. Um coeficiente menor denota uma capacidade de isolamento térmico superior. A estrutura de células fechadas, cheias de ar, dificultam a passagem do calor o que confere ao isopor um grande poder isolante – $K = 0,030 W/m^{\circ}C$;

Leveza – As densidades do isopor variam entre os 13 - 35 kg/m^3 , permitindo uma redução substancial do peso das construções;

Baixa absorção de água – O EPS praticamente não absorve água, sendo um material não higroscópico. Mesmo quando imerso em água o isopor absorve apenas pequenas quantidades de água. Tal propriedade garante que o isopor mantenha as suas características térmicas e mecânicas mesmo sob a ação da umidade. Esta propriedade é muito importante devido ao fato da água deteriorar a capacidade de isolamento de um material isolante térmico;

Fácil manuseio – O isopor é um material que se trabalha com as ferramentas habitualmente disponíveis, garantindo a sua adaptação perfeita à obra. O baixo peso do isopor facilita o manuseamento do mesmo em obra. Todas as operações de movimentação e colocação resultam significativamente encurtadas

Propriedades mecânicas – As propriedades mecânicas mais importantes do EPS são as resistências à compressão, flexão, tração e à fluência sob compressão. Na compressão, o EPS comporta-se de uma maneira elástica até a deformação atingir cerca 2% da espessura da placa. Nesta situação, uma vez retirada a força que provocava a deformação, a placa recupera a espessura original. Aumentando a força de compressão, supera-se o limite de elasticidade e verifica-se uma deformação permanente de parte das células que, no entanto, não se rompem. Em aplicações de deformação permanente do EPS, deve-se escolher a massa volumétrica para que se obtenham valores de compressão inferiores a 1% em longo prazo. Apesar de muito leve, o isopor tem uma resistência mecânica elevada, que permite o seu emprego onde esta característica é necessária. É um material que pesa entre 13 a 35 kg/m^3 , e tem uma resistência à compressão de 1 a 2 kg/cm^2 . Na Figura 5 é mostrado isto graficamente.

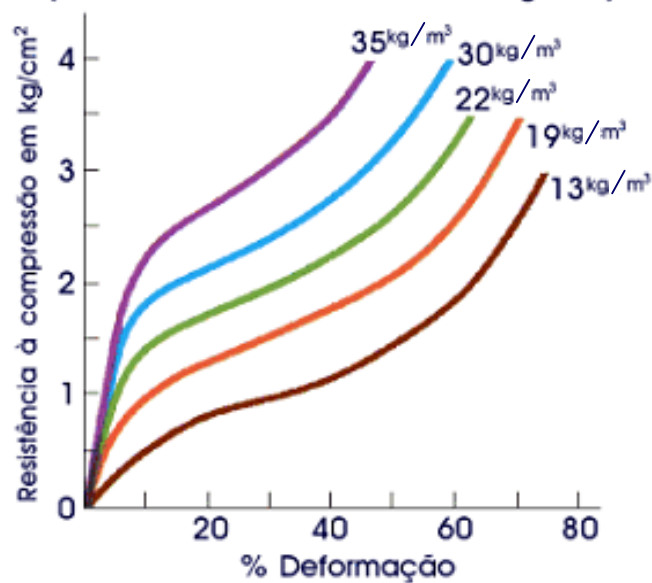


Figura 5. Resistência a Compressão do EPS para densidades variadas

Fonte: www.abrapex.com.br

Econômico – Levando em conta diversos parâmetros tais como a mão de obra, manuseio, baixo peso, transporte e armazenamento, a utilização do EPS é economicamente vantajosa para fins diversos.

2.1.2. O uso do EPS na construção civil

O EPS vem sendo utilizado cada vez mais como material para construção civil, devido principalmente à sua baixa densidade e capacidade de isolamento termo-acústico. Sua incorporação permite reduzir a potência de refrigeração dos sistemas de condicionares de ar, buscando maiores condições e conforto aliada à economia nos gastos anuais com energia elétrica.

Além da sua capacidade isolante, as características de baixa densidade, resistência e facilidade de manuseio têm contribuído para o material ocupar uma posição estável na construção civil (TESSARI e ROCHA, 2006).

A indústria da Construção Civil, pela grande quantidade e diversidade de materiais que consome é um mercado, em potencial, para absorver resíduos de EPS provenientes de embalagens de eletrodomésticos, máquinas, equipamentos, etc. Por esta razão, materiais alternativos, desenvolvidos com estes resíduos, podem representar uma boa alternativa até

mesmo no custo final de moradias, em função da matéria-prima em parte reaproveitada no processo.

Devido à falta dessa estrutura, o Brasil recicla apenas 10% do isopor pós-consumo, um baixo índice em termos ambientais e mercadológicos. Quando transformado em outros materiais plásticos como PS (poliestireno) e compostos SBS (estireno butadieno estireno) no processo de reciclagem, o isopor pode virar solado de sapato, vaso de plantas, gabinete de TV e régua escolar, entre tantos outros produtos (SANTOS, 2008a).

Além disso, o uso do EPS reciclado para construção civil torna o custo da habitação mais barato e colabora para o tratamento ambiental do resíduo. Os sistemas construtivos em EPS propiciam uma economia significativa nos projetos estruturais das obras, na logística e reduzindo o desperdício.

O isopor reciclado, agregando-se a outros materiais, pode ser transformado em tijolo leve poroso, argamassa e concreto leve, aproveitável em qualquer parte da construção convencional que não exija materiais de alta resistência. Grande parte desse potencial se perde pela dificuldade em fazer o resíduo de EPS sair da residência do consumidor e voltar à indústria transformadora.

Bezerra (2003) realizou uma análise experimental do desempenho térmico de sistema construtivo (parede) fabricado com blocos de concreto leve com EPS como agregado graúdo, além de ensaio mecânico (compressão) comparando com resultados obtidos com bloco de concreto comum, demonstraram a viabilidade do uso do bloco de concreto leve tanto no que diz respeito à resistência mecânica como no que se refere ao desempenho térmico.

Na Europa, a construção civil responde por 65% do consumo de EPS, enquanto no Brasil chega a apenas 4% (KRÜGER, 1999).

Medeiros et al, 2006, realizaram uma análise experimental de EPS triturado para ser usado em blocos de cimento para alvenaria de vedação, em substituição parcial ao agregado natural presente nos blocos. Quando submetidos a ensaios experimentais para determinação de absorção de água, porosidade e resistência à compressão, foram obtidos resultados satisfatórios em relação às Normas da ABNT.

2.2. O Gesso

O gesso é um aglomerante produzido a partir da gipsita (também denominada por *pedra de gesso*), composto basicamente de sulfato de cálcio di-hidratado. Historicamente foi utilizado como ligante em povos da Antiguidade que ocupavam zonas com climas secos, tais como o

Egipto ou a Fenícia. Após a extração da pedra de gesso, este material é britado, ou seja, é fragmentado mecânicamente formando pequenos pedaços de pedra. É feita em seguida a calcinação desses mesmos fragmentos num forno rotativo a cerca de 160°C. Neste processo o material perde água, formando assim sulfato de cálcio semi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$). Uma vez calcinado, o material é moído formando o característico pó branco que é comercializado.

2.2.1. A história do gesso

Recentes descobertas arqueológicas revelaram que o emprego do gesso remonta a oito mil anos antes de Cristo (segundo escavações feitas na Síria e Turquia). Os rebocos em gesso e cal serviram de apoio para os frescos decorativos, na preparação do solo e mesmo na fabricação de recipientes.

Também se descobriram nas escavações de Jericó (6 mil anos antes de Cristo) vestígios do emprego de gesso em moldagem. É do conhecimento geral que a grande Pirâmide, atribuída a Quéops, faraó do Egito durante a 4ª Dinastia por volta do ano 2800 antes da nossa era, preserva um dos vestígios mais antigos do uso do gesso na construção: para a execução de acordo com uma técnica ainda não totalmente compreendida, juntas de montagem com uma precisão fantástica entre os blocos, alguns dos quais com 16 toneladas que constituem o monumento.

No séc. XVIII, a utilização do gesso na construção generalizou-se a ponto de, no âmbito das construções existentes, 75% dos hotéis e a totalidades dos edifícios do poder e da população terem sido feitos em painéis de madeira tosca e rebocos de gesso – e no caso das construções novas, cerca de 95% eram feitas em gesso (SANTOS, 2008a).

Nessa época, a fabricação do gesso ainda era feita de forma empírica e rudimentar. É assim que Lavoisier, em 1768, apresenta à Academia de Ciências o primeiro estudo científico sobre os fenômenos que estão na origem da preparação do gesso.

No século seguinte, os trabalhos de diferentes autores e principalmente os de Vant Hoff e nomeadamente os de Le Chatelier vão permitir abordar uma explicação científica sobre a desidratação da gipsita (COSTA, 2007).

Com o passar dos anos o gesso vem sendo cada vez mais utilizado devido a sua praticidade, seu uso como revestimento interno vem crescendo por proporcionar um acabamento fino quando bem aplicado e por poder ser aplicado diretamente sobre o substrato quando do uso de blocos de concreto ou cerâmico, dispensando o revestimento de argamassa e diminuindo, portanto, o custo e reduzindo o tempo de aplicação, visto que o gesso é aplicado

em uma única camada. No entanto, há uma grande perda deste material que se tornam resíduos sólidos que acabam em aterros sanitários ou são depositados de forma irregular em terrenos baldios contaminando o meio ambiente, por isso faz-se necessário viabilizar sua reciclagem (MILITO, 2007).

2.2.2. A utilização do gesso no Brasil e no Rio Grande do Norte

No Brasil as pequenas fábricas de componentes de gesso não possuem fornos e não realizam a reciclagem. A indústria de moldagem de cerâmica de decoração e sanitária também gera uma quantidade significativa de moldes descartados. Esta fração esta legalmente fora da Resolução do CONAMA 307. Porém, é provável que os resíduos gerados nas pequenas fábricas de placas representem uma massa significativa que pode ser decisiva na viabilização de operações de reciclagem em escala industrial. No entanto à luz da fabricação e dos meios que ela utiliza, foi só no século XX que, graças à evolução industrial, foram introduzidas as transformações mais profundas, as que levaram aos equipamentos atuais (JOHN e CINCOTTO, 2003).

A gipsita é amplamente extraída no município de Grajaú, no Maranhão, considerado um dos maiores produtores de gesso e derivados do mundo. O pólo gesseiro do Araripe Pernambucano tem uma reserva estimada de 22 bilhões de toneladas de gipsita, uma das reservas mais expressivas do mundo e a maior já medida no Brasil.

Desde os anos da década de 1960 que Pernambuco assumiu, e vem mantendo, a posição de maior produtor nacional de gipsita. Isto pode ser explicado pelo fato das suas minas apresentarem melhores condições de lavra (menor razão de mineração e maior pureza do minério); mais adequada infra-estrutura (fácil acesso, vias de escoamento asfaltadas e disponibilidade de energia elétrica); e ainda, uma maior proximidade do mercado consumidor do que as da maioria dos outros Estados produtores (SANTOS, 2008b).

O Rio Grande do Norte foi o Estado pioneiro no Brasil na produção de gipsita e gesso, e durante cerca de 20 anos, a partir de 1938, ocupou a posição de maior produtor nacional, sendo as atividades conduzidas pelo Grupo Rosado. O elevado capeamento, da ordem de 20 m, e a pequena espessura da camada de gipsita, de apenas 5 m, inviabilizaram a continuidade da atividade mineradora, especialmente após a descoberta das jazidas de Pernambuco. Na década de 1990 o DNPM tornou sem efeito a concessão da qual era titular a empresa Gesso Mossoró Ltda (Grupo Rosado), e colocou a jazida em disponibilidade para lavra, porém a mesma não atraiu nenhum investidor (SANTOS, 2008b).

2.2.3. As propriedades do gesso

Encontrado praticamente em todo o mundo, o gesso ocorre no Brasil abundantemente em terrenos cretáceos de formação marinha, sobretudo nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Piauí e Pernambuco.

Entende-se por gesso, um aglomerante aéreo, obtido através da gipsita (sulfato de cálcio com duas moléculas de água – $(\text{CaSO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$ desidratada e moída. As reações químicas provenientes da mistura do gesso com a água resultam na pasta de gesso que é um bom aglutinante, além de apresentar excelente aderência e ótima resistência mecânica. Do ponto de vista ambiental, o gesso também apresenta a grande vantagem de emitir menos gás carbônico (CO_2) que o cimento Portland durante o seu processo industrial de fabricação (BAUER, 2001).

O gesso pode ser encontrado ainda sob a forma de agregados granulares, quando recebe o nome de alabastro, ou em veios fibrosos, com o nome de espató-de-cetim, em virtude do brilho sedoso. A forma pulverulenta, não cristalizada, recebe o nome de gipsita. Em geral tem cor branca, mas impurezas diversas podem dar-lhe aspecto acinzentado, amarelado, rosado ou marrom (NIELSEN, 1994).

Quando se umedece o gesso com cerca de um terço de seu peso em água, forma-se uma massa plástica que endurece em cerca de dez minutos e sofre expansão, pelo que se utiliza na confecção de moldes com formas bem definidas. Usa-se gesso também em construção, para acabamento do reboco e do teto das habitações e, modernamente, na confecção de rebaixamentos e divisórias, juntamente com papelão (JOHN, 2000).

O gesso rápido, gesso de estucador ou gesso de Paris, que é utilizado sob a forma de revestimento, é um aglomerante aéreo proveniente da gipsita, como única matéria-prima. A gipsita é um sulfato de cálcio com duas moléculas de água $(\text{CaSO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$, em geral acompanhada de impurezas como SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , CaCO_3 e MgO , num total não ultrapassando 6% (PETRUCCI, 1993).

O gesso entra também na composição do cimento portland, na proporção de dois a três por cento, como agente retardador de pegas. É ainda usado em aparelhos ortopédicos, em trabalhos de prótese dentária e outros campos em que se faz necessária a confecção de moldes e fôrmas especiais (INCROPERA e DEWITT, 2003).

O gesso tem um coeficiente de condutibilidade térmica correspondente a $0,46\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$, sendo, portanto, considerado um isolante térmico (INCROPERA e DEWITT, 2003).

Outros empregos do gesso são: moldes (cerâmica, fundição e dentário), imobilização (engessamento em humanos e animais) e também como adubo (gipsita).

Uma boa característica do gesso e seu baixo impacto ambiental, pois devido a sua baixa temperatura de calcinação (o cal, por exemplo, é calcinado à cerca de 800°C) implicando em um consumo de energia muito baixo, reduzindo o impacto ambiental do processo produtivo.

Durante a calcinação é liberada para a atmosfera grande quantidade de água, além dos resíduos do processo de combustão. Estas características fazem do gesso um dos aglomerantes menos agressivos ao ambiente (INCROPERA e DEWITT, 2003).

2.2.4. O uso do gesso na construção civil

O gesso é um material muito utilizado em construção devido às suas propriedades de aderência. A sua maleabilidade fazem da argamassa deste ligante um bom material para a execução de pormenores decorativos em paredes e tetos, assim como fazer o estuque que reveste as paredes.

É um bom isolante térmico e acústico devido ao fato de ter uma baixa condutividade térmica e um elevado coeficiente de absorção acústica. Contudo, a sua fraca resistência quando posto em contacto com água, faz do gesso um mau material para ser utilizado em exteriores.

É também utilizado como barreira corta-fogo, pois como tem um baixo coeficiente de conductibilidade térmica, impede que o fogo alastre a outras zonas do local onde o gesso está aplicado, normalmente em habitações; para além do baixo coeficiente de conductibilidade térmica possui ainda a característica de libertar água quando exposto ao calor do fogo (SANTOS, 2008b).

O gesso pode ser aplicado como sanca, moldura, barrado, rodapé, rebaixamento de teto e como contorno em volta de batentes de portas e janelas. O gesso também pode ser aplicado direto na parede de bloco de tijolo sem as etapas do chapisco, reboco, massa fina e massa corrida. É conhecido popularmente como "gesso liso".

Quando aplicado direto na parede fica com um acabamento fino semelhante ao da massa corrida. O gesso também é utilizado como piso protetor de porcelanatos granitos e outros pisos sensíveis, com a utilização de estopa lona plástica e gesso por cima para tráfego pesado e médio (SANTOS, 2008b).

De acordo com o ITEP, órgão que analisa o desempenho dos materiais instalados em prédios, pesquisa e desenvolve equipamentos, entre os fatores que inibem o uso mais arrojado do gesso na construção civil estão a falta de referência do produto, que assegure aos consumidores segurança e qualidade. Sete projetos sobre normalização do uso do gesso na construção estão para ser encaminhados pelo ITEP à ABNT (ITEP, 2010).

O seu emprego na área da construção civil se intensificou através da substituição das divisórias internas na construção de casas, apartamentos e escritórios por placas de gesso, *dry wall*. No Brasil, o uso desse material em divisórias começa a se intensificar. Entretanto, o consumo de gesso, estimado em 7 kg/habitante-ano, ainda é baixo quando comparado com a Argentina (20 kg/habitante-ano), Chile (40 kg/habitante-ano), Japão (80 kg/habitante-ano), EUA (90 kg/habitante-ano) e Europa (80 kg/habitante-ano) (FINEP, 2010).

Uma das grandes utilizações do gesso é na produção de placas de gesso cartonado, conhecido como *Pladur*® ou *Placoplatre*® (marcas que comercializam este tipo de material). Estas placas têm características que lhes são atribuídas através de aditivos, e podem ser distinguidos através da cor das placas: branco – normal; rosa – corta-fogo (contém fibra de vidro); verde – resistente à água (adição de um polímero de silicone). É também utilizado para o isolamento acústico (perfurado), resistente ao choque, isolamento térmico (adição de uma placa de poliestireno expandido) (SANTOS, 2008b).

Com apoio do Programa Habitare, financiado pela FINEP, o Instituto de Física de São Carlos, uma unidade da USP, vai aprimorar o uso do gesso para aplicação na habitação de interesse social. Pesquisas neste campo vêm sendo desenvolvidas há quatro anos e já contam com resultados importantes. Entre eles, o desenvolvimento de um novo processo capaz de gerar produtos de gesso com elevada resistência mecânica, podendo atingir valores superiores aos do cimento. Estes resultados levaram o grupo de pesquisadores envolvidos no projeto a encaminhar pedido de registro de patente, do qual a FAPESP é a proprietária, junto ao INPI (FINEP, 2010).

Há dois tipos de gesso disponíveis no mercado, o gesso de pega rápida e o gesso de pega lenta. O gesso de pega rápida endurece apenas 15 minutos depois de preparado, sendo indicado para modelagem, fundição de pequenas peças, recuperação de peças moldadas em gesso e recomposição de pequenas áreas de superfícies de paredes e tetos revestidas em gesso, dentre várias outras aplicações correlatas. Quando se utiliza o gesso de pega rápida para o revestimento geral de paredes, devido a esta rápida cura, a quantidade de material desperdiçado é enorme, sendo indicado para este fim, o gesso de pega lenta, o qual endurece com tempo igual ou superior a 45 minutos (SINDUGESSO, 2010).

2.3. O material PET e suas características

O PET, é um polímero termoplástico, desenvolvido por dois químicos britânicos Whinfield e Dickson em 1941, formado pela reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol,

originando um polímero, termoplástico. Utiliza-se principalmente na forma de fibras para tecelagem e de embalagens para bebidas. Abaixo, na Figura 6, é apresentada a fórmula estrutural do etileno tereftalato (monômero do PET).

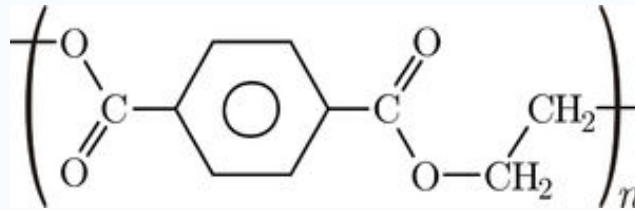


Figura 6: Fórmula estrutural do etileno tereftalato.

Possui propriedades termoplásticas, isto é, pode ser reprocessado diversas vezes pelo mesmo ou por outro processo de transformação. Quando aquecidos a temperaturas adequadas, esses plásticos amolecem, fundem e podem ser novamente moldados.

O PET proporciona alta resistência mecânica (impacto) e química, além de ter excelente barreira para gases e odores. Devido às características já citadas e o peso muito menor que das embalagens tradicionais, o PET mostrou ser o recipiente ideal para a indústria de bebidas em todo o mundo, reduzindo custos de transporte e produção. Por tudo isso, oferece ao consumidor um produto substancialmente mais barato, seguro e moderno. Abaixo, é ilustrado através da Figura 7, garrafas de diferentes tamanhos e modelos produzidos com PET (ABIPET, 2010).



Figura 7: Garrafas PET de diferentes tamanhos e modelos.

As garrafas produzidas com este polímero só começaram a ser fabricadas na década de 70, após cuidadosa revisão dos aspectos de segurança e meio ambiente. No começo dos anos 80, os Estados Unidos e o Canadá iniciaram a coleta dessas garrafas, reciclando-as inicialmente para fazer enchimento de almofadas. Com a melhoria da qualidade do PET reciclado, surgiram

aplicações importantes, como tecidos, lâminas e garrafas para produtos não alimentícios. Mais tarde na década de 90, o governo americano autorizou o uso destes material reciclado em embalagens de alimentos (ABIPET, 2010).

2.3.1. Reação de obtenção do PET

A reação para a obtenção do polietileno tereftalato é apresentada de forma esquemática na Figura 8.

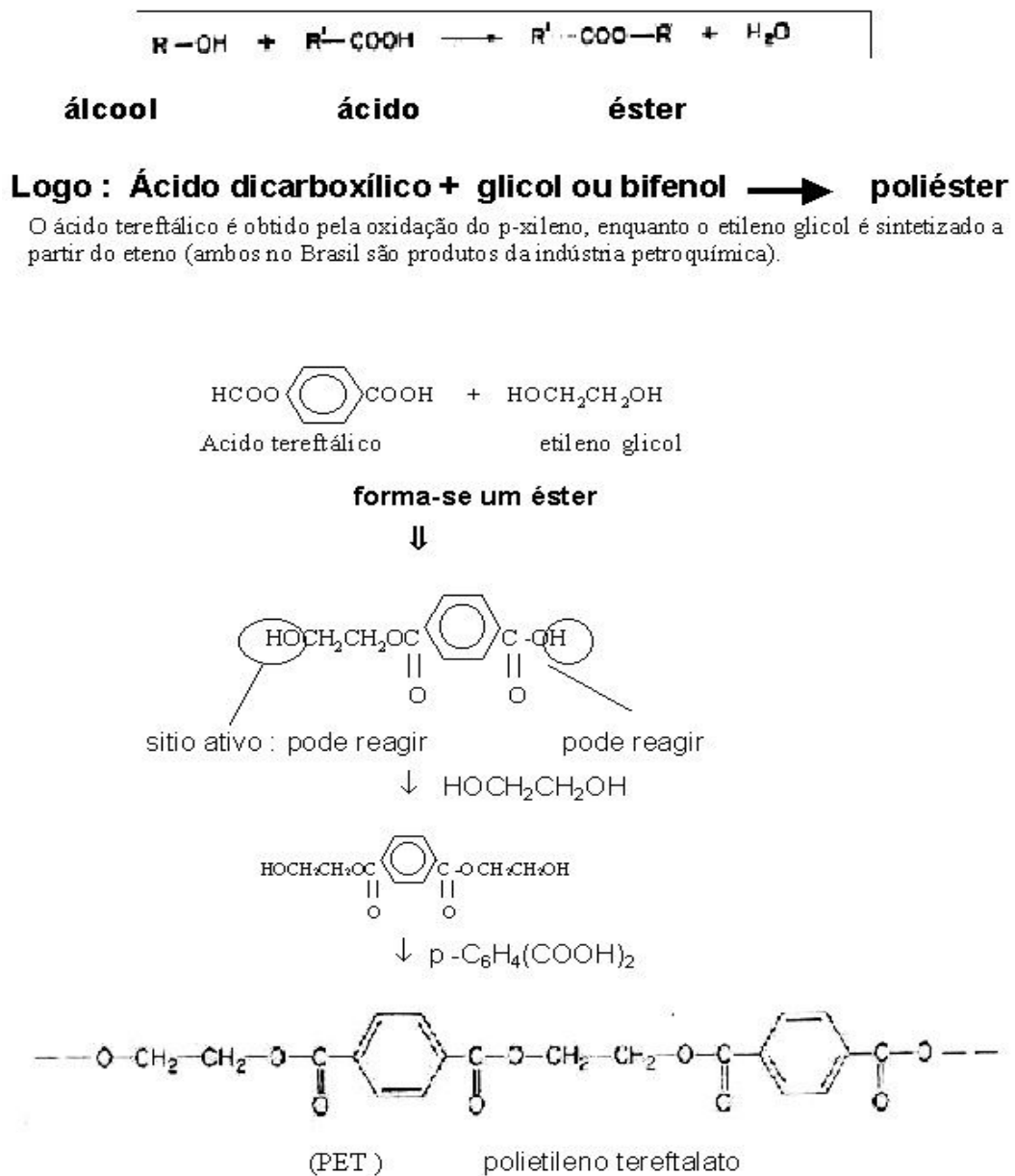


Figura 8. Reação para obtenção do PET.

2.3.2. A questão ambiental

O crescimento da população e o estímulo ao consumo de produtos industrializados descartáveis têm aumentado a quantidade e a diversidade dos resíduos urbanos. A simples disposição dos resíduos industriais, comerciais e domésticos urbanos em aterros sanitários fez com que eles estejam em vias de saturação. A utilização desses resíduos como matéria-prima tem sido adotada como solução para o problema, mas como é uma atividade recente, ainda não é aceita como melhor alternativa.

Segundo Leite (2003), quanto maior o nível sócio-econômico e conseqüente poder aquisitivo do cidadão, maior o uso de descartáveis e quantidade de polímeros no lixo. A tecnologia proporciona a utilização de polímeros para uma melhora na qualidade de vida, mas que também resulta em grande problema com a quantidade de resíduos gerados.

Quando depositado em aterros o PET pode levar dezenas de anos para degradar-se, reduzindo a capacidade física dos mesmos e provocando, durante este tempo, uma diminuição da capacidade de percolação de gases e líquidos, resultando em um aumento no tempo necessário para estabilização da matéria orgânica. O PET possui alta resistência a agentes biológicos e atmosféricos e seus produtos de degradação são inócuos ao corpo humano (PEZZIN, 2007; CANELLAS, 2005).

As garrafas de PET são totalmente inertes, o que significa que, mesmo indevidamente descartadas, elas não causam nenhum tipo de contaminação para o solo ou lençóis freáticos. Além disso, verificou-se que durante testes de combustão de fibras de PET nenhum gás tóxico foi gerado (OCHI, OKUBO e FUKUI, 2007).

Apesar da praticidade, as garrafas PET representam um grave problema ambiental, já que o resíduo pode levar séculos para se decompor na natureza. O efeito ainda se multiplica se não é dada a destinação correta, para reciclagem e reaproveitamento.

No ano de 2006, o Brasil reciclou 194 toneladas de PET, o que representa 51,3% da resina virgem utilizada no período, índice inferior apenas ao do Japão (62% da resina virgem utilizada). Se por um lado este índice demonstra que a reciclagem de PET é uma realidade no Brasil, por outro lado demonstra também que existe uma grande parcela deste produto que não possui esta mesma destinação pós-consumo e que são encaminhados para a deposição em aterros.

A não reciclagem de embalagens de PET para a fabricação de novos produtos de mesma composição resulta, invariavelmente, em um maior consumo de matéria-prima não renovável e no aumento de áreas de deposição de resíduos. (ABIPET, 2010).

Leite (2003) ainda cita que um dos piores problemas originados no descarte de materiais plásticos no Brasil é o espaço que ocupam nos aterros sanitários. Embora representem algo em torno de 10% do peso total do lixo, ocupam até 20% de seu volume, contribuindo também para o aumento dos custos de coleta, transporte e descarte final dos resíduos urbanos.

Com poucas iniciativas públicas em coleta seletiva de lixo, o país tem no crescente número de catadores e sucateiros, o principal veículo de coleta de diversos materiais recicláveis, entre eles o PET. Já a coleta pública, tem evoluído vagarosamente. Apenas 2,25% dos municípios brasileiros possuem este serviço.

O maior problema da reciclagem de PET é a oferta de material; apesar do crescimento dos últimos anos, ela ainda é tímida e está aquém das necessidades. A falta de fornecimento contínuo e homogêneo de matéria-prima é o reflexo da quase inexistência de uma política de coleta seletiva pelos municípios. Soma-se a isto a falta de consciência da população sobre a necessidade de reciclar o lixo.

Segundo Provenzano (2006), as garrafas podem ser utilizadas na construção de casas em substituição aos tijolos. Os painéis são pré-fabricados e os blocos cerâmicos comumente utilizados foram substituídos pelas garrafas e preenchidos com argamassa e cimento. Elas são cortadas na base e encaixadas umas nas outras, sobre um molde, antes do preenchimento. Segundo a autora, as garrafas já estão começando a ter um valor no mercado, mas ainda representam problemas para o meio ambiente, por seu elevado tempo de decomposição. “Grande parte ainda é jogado em rios e aterros sanitários”, diz. São destacados números a revelarem que anualmente cerca de 500 milhões de garrafas se transformam em toneladas de lixo, capazes de entupir bueiros, bloquear galerias pluviais e cobrir aterros sanitários.

As embalagens de PET merecem especial atenção porque, se jogadas aleatoriamente na rua, transformam-se em grandes problemas nos dias de chuva, causando entupimentos de bueiros durante as inundações. O PET é utilizado por oferecer características como: leveza, resistência a choques, é seguro e difícil de romper, além de possuir um custo baixo para o fabricante. Abaixo, na Figura 9, pode ser visualizado um exemplo de residência construída utilizando garrafas PET em substituição aos tradicionais tijolos cerâmicos.



Figura 9: Exemplo de residência em construção utilizando garrafas PET em substituição aos tradicionais tijolos cerâmicos.

Embalagens velhas de PET podem ser transformadas em fibras têxteis, cordas, cerdas, fitas, resinas, matéria-prima para produção de camisetas, mantas, vassouras, bichos de pelúcia, enchimento de edredons, jogos americanos, filtros e couro artificial.

2.4. Cimento Portland

O cimento é um material cerâmico que, em contato com a água, produz reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim resistência mecânica. É o principal material de construção usado na construção como aglomerante e uma das principais *commodities* mundiais, servindo até mesmo como indicador econômico.

A palavra cimento é derivada da palavra latina *caementum*, que os romanos denominavam a mistura de cal com terra pozolana (cinzas vulcânicas das ilhas gregas de Santorim e da região de Pozzuoli, próximo a Nápoles), resultando em uma massa aglomerante utilizada em obras de alvenaria, pontes e aquedutos (ABCP, 2010).

Já no Antigo Egito era utilizada um material feito de gesso calcinado como aglomerante. Entre os gregos e romanos, eram usados solos vulcânicos das proximidades de Pozzuoli ou da ilha de Santorini, que endureciam depois de misturadas com água.

O grande passo no desenvolvimento do cimento foi dado em 1756 pelo inglês John Smeaton, que conseguiu obter um produto de alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818, o francês Vicat obteve resultados semelhantes aos de Smeaton, pela mistura de componentes argilosos e calcários. Ele é considerado o inventor do cimento artificial.

Tempos depois, em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto às pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (ABPC, 2010). Abaixo, na Figura 10, é apresentado o produto em seu meio mais comum de comercialização.



Figura 10. Pacotes com cimento Portland.

No Brasil, a primeira tentativa de aplicar os conhecimentos relativos à fabricação do cimento Portland ocorreu aparentemente em 1888, quando o comendador Antônio Proost Rodovalho empenhou-se em instalar uma fábrica na fazenda Santo Antônio, de sua propriedade, situada em Sorocaba-SP.

O cimento Portland é constituído principalmente de material calcário, como rocha calcária ou gesso, alumina e sílica, encontrados em argilas e xisto. As argilas também contêm alumina (Al_2O_3) e, freqüentemente, óxidos de ferro (Fe_2O_3) e álcalis. A presença de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO e álcalis na mistura de matérias primas tem efeito mineralizante na formação de silicatos de cálcio. Quando não estão presentes quantidades suficientes de Al_2O_3 e Fe_2O_3 nas matérias primas principais, estes são propositalmente incorporados à mistura por adição de materiais secundários, como a bauxita e o minério de ferro. (MEHTA e MONTEIRO, 1994)

O clínquer é o principal item na composição de cimentos portland, sendo a fonte de Silicato tricálcico $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ e Silicato dicálcico $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$. Estes compostos trazem acentuada característica de ligante hidráulico e estão diretamente relacionados com a resistência mecânica do material após a hidratação.

A produção do clínquer é o núcleo do processo de fabricação de cimento, sendo a etapa mais complexa e crítica em termos de qualidade e custo. As matéria-primas são abundantemente encontradas em jazidas de diversas partes do planeta, sendo de 80% a 95% de calcário, 5% a 20% de argila e pequenas quantidades de minério de ferro.

As fábricas de cimento tipicamente se instalam ao lado de jazidas de calcário e argila de modo a minimizar os custos de transporte. A extração destes materiais se realiza em geral em lavras de superfície, com auxílio de explosivos. As rochas extraídas são britadas até atingirem tamanhos de aproximadamente 200 mm ou menos e transportadas para a fábrica em transportadores de correia.

Após a extração da matéria prima, a moagem e a mistura desse material, são realizados ajustes para obter a composição química pretendida. A seguir, a mistura é levada a um grande cilindro revestido de material refratário, com até 8m de diâmetro, que chega a 230 metros de comprimento, girando lentamente em torno do eixo que está ligeiramente inclinado em relação à horizontal (NEVILLE, 1997).

A mistura, no seu movimento forno abaixo, encontra temperaturas progressivamente mais elevadas, liberando-se inicialmente a água e o CO_2 ; em seguida, o material seco sofre uma série de reações químicas até que, finalmente, na parte mais quente do forno, cerca de 0% a 30% do material se funde e o calcário, a sílica e a alumina se recombinaem (NEVILLE, 1997).

A massa se funde em pelotas com diâmetro de 3 mm e 25 mm, conhecidas como clínquer e são resfriadas. Após a adição de gesso e das adições minerais desejadas, ocorre a moagem, outra etapa bastante importante, pois, dependendo da finura em que os componentes são moídos, o cimento necessitará de mais ou menos água para se obter a plasticidade desejada

do concreto, maior ou menor será o calor de hidratação, etc. (NEVILLE, 1997). A seguir, na Figura 11, é apresentado um forno rotativo (cilindro revestido de material refratário).



Figura 11: Fornos Rotativos de Cimento - Holcim – Bélgica.

As determinações da qualidade e da quantidade das matérias-primas que vão constituir os diversos tipos de cimento portland não podem ser feitas atendendo simplesmente a vontade unilateral de um produtor ou de um consumidor.

No Brasil, a ABNT prepara e divulga normas técnicas que são usadas no mercado como padrão de referencia. As normas técnicas definem não somente as características e propriedades mínimas que os cimentos portland devem apresentar como, também, os métodos de ensaio empregados para verificar se esses cimentos atendem as exigências das respectivas normas.

Existem no Brasil 56 fabricas de cimento portland e todas elas atendem as exigências das normas técnicas determinadas pela ABNT. A qualidade é aferida pela ABCP, entidade de utilidade pública federal, com base nas normas da ABNT e nos princípios do INMETRO.

2.5. Resíduos de pneus

A produção mundial de pneus novos em 2005 foi de 1,32 bilhões em todo o mundo. Já o descarte de pneus usados chega a atingir, anualmente, a marca de quase um bilhão de unidades (YOKOHAMA, 2007).

A resolução 258/99 do CONAMA trata de uma adequação gradativa entre o número de pneus produzidos ou importados pelo Brasil e o número que deverá ser reciclado ou destruído. Muitos pneus, após de seu uso normal, são dispensados em beiras de estradas e rios, entre outros diversos locais. Este é problema, pois os pneus tornam o ambiente propício para a proliferação de insetos e roedores e podendo obstruir canais de rios, causando enchentes.

Segundo a resolução acima mencionada, a partir de 2002 para cada quatro pneus produzidos ou importados (novos ou reformados) um pneu inservível deveria ser reciclado. A partir de 2003 a relação deveria ser de dois pneus produzidos ou importados (novos ou reformados) para um pneu inservível reciclado. Em 2004 a proporção foi de um pneu produzido ou importado novo para um pneu inservível reciclado. Em 2005 a relação cresceu para cada quatro pneus produzidos ou importados novos, cinco pneus usados deveriam ser reciclados; e, para cada três pneus importados reformados de qualquer tipo deveriam ser reciclados quatro pneumáticos usados (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2008).

No quinto ano de vigência dessa legislação, as normas e os procedimentos estabelecidos nesta Resolução seriam revisados. Desde 2005 a Resolução nº 258/99 encontra-se em processo de revisão pelo IBAMA. Em 2006 a meta é de para quatro pneus produzidos ou importados novos, cinco pneus usados deveriam ser reciclados. Na Figura 12 é mostrado esse resíduo em exposição.



Figura 12. Borracha vulcanizada: 1 milhão de anos para se degradar no meio ambiente.

Os pneus podem ser utilizadas para gerar energia com a queima, matéria prima para pisos industriais, sapatos, tapetes de automóveis, borrachas de vedação, entre outros, contudo a demanda ainda é pequena em comparação a quantidade de dejetos a serem utilizados. É necessário para a sociedade, um processo remova as ligações de enxofre da borracha vulcanizada, produzindo um material que seja reaproveitável, afinal, a borracha vulcanizada demora cerca de 1 milhão de anos para ser degradada no meio ambiente (LAGARINHOS; TENÓRIO, 2008).

2.5.1. Resíduos de pneu na Construção Civil

O Brasil produz cerca de 45 milhões de pneus por ano, quase um terço disso é exportado para 85 países e os restantes rodam nos veículos nacionais. Apesar do alto índice de recauchutagem no País, que prolonga a vida dos pneus em 40%, a maior parte deles, já desgastados pelo uso, acaba parando nos lixões, na beira de rios e estradas, e até no quintal das casas, onde acumulam água que atrai insetos transmissores de doenças. Os pneus e câmaras de ar consomem cerca de 70% da produção nacional de borracha e sua reciclagem é capaz de devolver ao processo produtivo um insumo regenerado por menos da metade do custo da borracha natural ou sintética (SEGRE, 1999).

Além disso, economiza energia e petróleo usado como matéria-prima virgem para obtenção da borracha. A destinação dos resíduos de borracha é um problema, sendo que sua degradação é muito lenta, acarretando assim uma difícil disposição em aterros sanitários e lixões.

A borracha de pneu pode ser empregada na construção civil como isolante estrutural, ou seja, para impedir a propagação de tensões, como é o caso de regiões sujeitas a abalos sísmicos. A borracha apresenta uma capacidade de absorver energia 8.000 vezes maior que os metais (SEGRE, 1999).

As verificações feitas relativas às propriedades do concreto com borracha mostraram que os resultados dos ensaios indicaram uma redução nas propriedades mecânicas do compósito, sendo que o uso de borracha de maior granulometria diminui a resistência mecânica, quando comparados a um concreto usando granulometria menor de borracha. A adição da borracha de pneu na formação do compósito demonstrou que o mesmo apresenta um comportamento elástico, dando assim maior resistência a impactos (TOPÇU, 1995).

2.5.2. Trituração de pneus

Os processos mais utilizados para a trituração de pneus são à temperatura ambiente ou com resfriamento criogênico. No Brasil o processo mais utilizado é a trituração à temperatura

ambiente. O processo trituração à temperatura ambiente é aquele que pode operar a temperatura máxima de 120 °C, reduzindo os pneus inservíveis a partículas de tamanhos finais de até 0,2 mm. Este processo tem alto custo de manutenção e alto consumo de eletricidade. Nesse processo os pneus passam pelo triturador e pelo granulador.

No triturador ocorre uma redução dos pneus inteiros em pedaços de 50,8 a 203,2 mm. Após a etapa de trituração os pedaços de pneus são alimentados através de um sistema transportador de correias no granulador, para a redução de pedaços de 10 mm, dependendo do tipo de rosca montada no granulador. O aço é removido em um separador magnético de correias cruzadas e as frações de *nylon*, *rayon* e poliéster, são removidas pelos coletores de pó. O pó-de-borracha é separado através de um sistema de roscas e peneiras vibratórias em várias granulometrias, muitas aplicações são solicitadas para materiais finos, na faixa de 0,6 a 2 mm (RESCHNER, 2002).

De acordo com Reschner (2002), o processo criogênico é um processo que resfria os pneus inservíveis a uma temperatura abaixo de - 120 °C, utilizando nitrogênio líquido. Neste processo os pedaços de pneus de 50,8 mm são resfriados em um túnel contínuo de refrigeração e logo após são lançados em um granulador. No granulador os pedaços são triturados em um grande número de tamanhos de partículas, enquanto, ocorre ao mesmo tempo, a liberação das fibras de *nylon*, *rayon* e poliéster e do aço.

O granulado de borracha deve estar muito frio antes de sair do granulador, logo em seguida, o material é classificado. Este processo apresenta baixo custo de manutenção e consumo de energia, por outro lado, apresenta um alto custo operacional devido ao consumo do nitrogênio líquido. A operação de redução requer um baixo consumo de energia e as máquinas de trituração não são tão robustas quando comparadas com aquelas do processo de trituração à temperatura ambiente. Outra vantagem deste processo é a fácil liberação do aço e das fibras de *nylon*, *rayon* e poliéster, obtendo um produto final limpo (RESCHNER, 2002).

Estudos de pequena escala sobre a combustão de pneus ao ar livre entre 100 a 2000 °C revelaram que as existências de espaços vazios no meio dos pneus proporcionam um meio de transporte de oxigênio, aparenta ser o mecanismo de controle para sustentar o processo de combustão (REIS e FERRÃO, 2000).

2.6. A Areia

A areia é um material de origem mineral finamente dividido em grânulos, composta basicamente de dióxido de silício, com 0,063 a 2 mm. Forma-se à superfície da Terra pela

fragmentação das rochas por erosão, por ação do vento ou da água. Através de processos de sedimentação pode ser transformada em arenito.

É utilizada nas obras de engenharia civil em aterros, execução de argamassas e concretos e também no fabrico de vidro. O tamanho de seus grãos tem importância nas características dos materiais que a utilizam como componente.

Constituída por fragmentos de mineral ou de rocha, cujo o tamanho varia, conforme a escala de Wentworth, de maior que 64 μm (1/16 mm) e menor que 2 mm. Normalmente é extraída do fundos dos rios com dragas, chamado dragagem, que pode ocasionar graves danos ambientais, em seguida é lavada, peneirada e posta para secar e utilizada conforme sua granulação.

Entretanto, em alguns casos sua extração não resulta em danos ambientais, pois em algumas situações o processo de extração contribui sobremaneira para o desassoreamento dos leitos dos rios onde é realizado, quando há o devido acompanhamento por especialistas.

2.7. Os materiais compósitos

Novos materiais com alta resistência e baixa densidade podem ser obtidos combinando-se dois ou mais materiais, por exemplo: a fibra de vidro ou de carbono combinadas com algum tipo de resina, bastante usados nas indústrias náutica e aeroespacial, respectivamente. Materiais multifásicos, feitos artificialmente, para obtenção de melhores características mecânicas provenientes dessa combinação, são chamados de materiais compósitos.

Materiais compósitos são resultantes da combinação entre dois ou mais materiais de modo a formar um novo produto com características diferentes dos seus constituintes originais. Estes materiais são produzidos através da mistura física de uma fase dispersa que pode ser na forma de partículas, fibras ou mantas em uma fase contínua, denominada de matriz (SHELDON, 1982; BODIG e JAYNE, 1993; HULL, 1981).

O papel da matriz é manter a orientação das fibras e seu espaçamento, transmitir as forças de cisalhamento entre as camadas das fibras (para que o compósito resista à dobras e à torções) e protegê-las do ambiente exterior (MANO, 1999; ALLEN e THOMAS, 1999).

O componente estrutural pode ser um material orgânico ou inorgânico (metálico ou cerâmico), de forma regular ou irregular, fibroso (tecido ou não-tecido) ou pulverulento (esférico ou cristalino), com fragmentos achatados (como flocos) ou como fibras muito curtas, de dimensões quase moleculares, de material monocristalino (“whisker”). Os materiais estruturais devem apresentar resistência, rigidez e maleabilidade que, geralmente, se encontram

nas fibras. O seu papel é suportar as cargas máximas e impedir que as deformações ultrapassem limites aceitáveis (MANO, 1999).

O uso de compósitos ocorre desde a pré-história, onde mistura argila com palha de trigo ou de arroz produzia materiais com melhor maleabilidade e com menor desenvolvimento de fraturas (MOSLEMI, 1999).

Em 5000 a.C., o homem utilizou uma combinação de junco e piche na construção de botes, onde o piche serviu como adesivo (SHELDON, 1982).

O uso de argila reforçada com madeira e outras fibras naturais e o papel machê, usado pelos egípcios na antiguidade, são alguns exemplos de uso e formulação de compósitos de conhecimento tradicional. O autor faz um interessante relato histórico sobre o uso de vários compósitos nas estruturas de aviões, desde o uso de gelatina e amido reforçados com fibras de celulose até os compósitos de resina epóxi reforçados com fibras de carbono (MCMULLEN, 1984).

A partir da década de 60, os materiais compósitos de alto desempenho foram introduzidos de maneira definitiva na indústria aeroespacial. O desenvolvimento de fibras de carbono, boro, quartzo ofereceram ao projetista a oportunidade de flexibilizar os projetos estruturais, atendendo as necessidades de desempenho em vôo de aeronaves e veículos de reentrada na atmosfera.

O crescente uso de polímeros reforçados com fibras de carbono no setor aeronáutico deve-se, principalmente, ao constante desafio que esta indústria possui na obtenção de componentes que exibam os maiores valores de resistência mecânica e de rigidez específicas entre os materiais disponíveis. A substituição do alumínio por compósitos poliméricos estruturais, por exemplo, permite uma redução de peso de 20 a 30%, além de 25% na redução do custo final de obtenção das peças (REZENDE e BOTELHO, 2000).

Estudos recentes utilizaram alternativas para modificação da matriz através da substituição parcial do cimento Portland por materiais com propriedades pozolânicas como sílica ativa e escória granulada de alto forno (GHAVAMI et al, 1999; TOLEDO FILHO et al, 2005; SAVASTANO JÚNIOR et al, 2000).

Materiais pozolânicos podem melhorar significativamente as propriedades dos compósitos tanto no estado fresco como endurecido, melhorando também sua durabilidade através da reação pozolânica realizada por esses materiais que transformam o hidróxido de cálcio, cristais grandes e instáveis, em estruturas cristalinas menores e mais resistentes, o CSH (silicato de cálcio hidratado).

Outros materiais com propriedades pozolânicas têm sido usados para substituição parcial do cimento como a cinza volante, a cinza da casca de arroz, a metacaulinita, a cinza do bagaço e da palha da cana de açúcar (SOUZA, et al, 2006a).

Durante os últimos 20 anos, um substancial desenvolvimento de compósitos para aplicações estruturais foi observado. A principal motivação dessa grande evolução foi a possibilidade de se produzir compósitos com altas propriedades mecânicas e baixas densidades que, potencialmente, poderiam substituir materiais usualmente utilizados como o aço e a madeira.

A combinação de polímeros de alto desempenho com fibras cerâmicas ou poliméricas de alto módulo elástico e resistência mecânica, permitiu a produção de novos compósitos com um grupo de propriedades específicas (por unidade de peso) superiores ao aço, alumínio e outros. Esses compósitos apresentam, em geral, altas razões módulo/peso e resistência/peso superiores à de materiais cerâmicos, poliméricos e metálicos (SOUZA, et al, 2006c).

As propriedades mecânicas dos compósitos são afetadas por duas fases: a fase estrutural, geralmente possui módulo alto e elevada resistência mecânica e é representada por um material fibroso; a fase matricial possui módulo baixo e em geral é capaz de grande alongamento sendo tipicamente constituída de um material plástico, não quebradiço.

Em relação ao peso, os compósitos revelam propriedades mecânicas que podem exceder consideravelmente às dos metais. A combinação de excelentes propriedades mecânicas e leveza estrutural torna os compósitos interessantes materiais de aplicação em engenharia (MANO, 1999).

Como uma das principais características do compósito é a sua baixa condutividade térmica, possuindo, portanto significativa resistência térmica que em edificações traduz-se em conforto térmico, faz-se a seguir uma abordagem sobre esse tema.

2.8. Conforto térmico

A sensação de conforto térmico é definida na norma ASHRAE 55/2004 como o estado mental que expressa satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa (ASHRAE, 2004), ou seja, conforto térmico é a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente, conforme define a NBR 15220-1/2005 (ABNT, 2005a).

O conforto térmico depende de variáveis físicas ou ambientais e também de variáveis subjetivas ou pessoais. As principais variáveis físicas que influenciam no conforto térmico são:

temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade do ar e velocidade relativa do ar. As variáveis pessoais envolvidas são: atividade desempenhada pela pessoa e vestimenta utilizada pela pessoa. Ainda, há as variáveis características individuais, aspectos psicológicos, culturais e hábitos (FANGER, 1970).

Sendo o conforto térmico fundamental em uma habitação, várias instituições no mundo e pesquisadores iniciaram estudos nesta área, avaliando o desempenho térmico das habitações e definindo parâmetros de conforto. Há pouco mais de vinte anos, no Brasil, se intensificaram os estudos com relação ao desempenho térmico de habitações, em especial das chamadas habitações de interesse social.

Os grupos de pesquisadores que iniciaram estudos neste campo e podem ser destacados são: o IPT (São Paulo), a ANTAC e o LABEEE (UFSC).

No LABEEE, o estudo realizado por Barbosa (1997), em sua tese de doutorado, realizado junto à UFSC, teve por base a cidade de Londrina – PR. Nele é proposta uma metodologia para avaliar o desempenho térmico em edificações térreas residenciais unifamiliares através de limites de conforto térmico ajustados para uma população local. Os referidos limites baseiam-se na zona de conforto térmico de Givoni (1992) para países de clima quente e em desenvolvimento, que recomenda para o interior temperaturas variando de 18 a 29°C. O parâmetro adotado como critério de avaliação é o total de horas por ano em que as temperaturas internas obtidas na simulação apresentam-se fora dos limites de temperatura da referida zona.

Em novo estudo coordenado por Barbosa (2002), foi realizada uma revisão bibliográfica de trabalhos realizados pelo IPT e pela ANTAC, relacionados com o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares. A fase de pesquisa bibliográfica visou analisar textos preparados para serem transformados em normas para avaliar o desempenho térmico de habitações de interesse social ou habitações populares.

Foram encontradas duas dissertações de mestrado realizadas no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, que avaliam o desempenho térmico de habitações construídas na Vila Tecnológica de Curitiba.

No trabalho de Dumke (2002) intitulado “Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social” foram analisadas 18 moradias habitadas e de sistemas construtivos diferenciados.

Os resultados obtidos por Dumke (2002) apontam para apenas 10,6% das horas da temperatura externa na faixa de conforto (18°C a 29°C) no inverno, ou seja, 88,3% das horas

em desconforto por frio e 1,01% das horas em desconforto por calor. No verão, a temperatura externa apresentou 36,3% das horas na faixa de conforto e 63,7% das horas em desconforto assim distribuídas: 31,3% de frio e 32,4% de calor.

A avaliação térmica das moradias habitadas foi realizada com medições no próprio ambiente, observando-se os padrões de uso das moradias. Foram utilizados *data-loggers* para as medições realizadas. Os períodos medidos foram de 09/07 a 03/08/2000 (inverno) e de 12/12/2000 a 10/01/2001 (verão). Os aparelhos foram programados para coletar a temperatura e umidade relativa a cada 15 minutos.

Os dados coletados foram integrados para uma hora e plotados e analisados com o software ANALYSIS na carta psicrométrica de GIVONI, tendo como resultado a quantificação da porcentagem do tempo de medição em que as condições do ambiente se situam na zona de conforto ou fora dela (SCHUCH et al, 2005).

Em trabalho apresentado por Lemos e Barbosa (1999), foram analisados cinco sistemas construtivos diferentes utilizados na edificação de habitação popular com o objetivo de verificar qual sistema apresentava o melhor desempenho térmico e quais as características térmicas que mais influenciam o resultado.

A metodologia empregada para avaliar o desempenho térmico baseou-se nos limites de temperatura de conforto definidos por Givoni (1992). Esta metodologia quantifica as horas anuais de desconforto por frio e por calor. Os sistemas foram comparados entre si segundo os resultados obtidos por simulação. O principal resultado encontrado foi que a taxa de ventilação é o parâmetro que mais influencia o desempenho térmico destes sistemas construtivos.

GRINGS (2003), em sua pesquisa, comparou resultados computacionais e experimentais do comportamento térmico de um ambiente. Foram coletados dados durante duas semanas ininterruptas através da instrumentação instaladas na sala, sendo posteriormente comparados com resultados obtidos através de simulações computacionais realizadas com o software EnergyPlus.

Como resultados foram obtidos gráficos comparativos entre os dados medidos e simulados (temperatura da sala e da carga térmica). A autora concluiu que os resultados obtidos a partir das medições realizadas na sala apresentaram resultados melhores do que nas simulações. Com relação à carga térmica medida e simulada, elas não apresentam uma boa concordância, ficando o resultado da simulação nestas condições muito além da margem de incerteza.

Maciel e Lamerts (2002), apresentaram uma análise das características arquitetônicas de uma edificação de Brasília, através da avaliação bioclimática desta cidade. Neste estudo foram

realizadas medições da temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar e foi aplicado questionários aos usuários em relação à sensação térmica do ambiente. Resultou que a pouca ventilação apontada pelos usuários, como a maior causa de desconforto térmico.

Loureiro (2003) realizou um trabalho com objetivo de analisar as reais condições térmicas de edificações residenciais localizadas em Manaus, onde o clima é quente e úmido, com temperaturas elevadas durante todo o ano, baixas freqüências de ventos e alta umidade relativa do ar. Estas variáveis foram plotadas na carta bioclimática de GIVONI (1992) e como resultados foram obtidas as estratégias de ventilação natural, ar condicionado e sombreamento. Foi realizado estudo de caso em quatro residências, sendo um apartamento, baseados em medições horárias de TBS e UR no período de janeiro a março de 2002. Realizou-se análise comparativa das TBS, das UR, das horas em desconforto e do desvio médio das temperaturas de cada residência. A partir destas análises observa-se que para maior eficiência da arquitetura local e para favorecer o conforto térmico, é necessário preocupar-se em acentuar a utilização das estratégias de ventilação, renovação do ar interno e sombreamento das edificações. Para tanto, em consequência das baixas freqüências e reduzidas velocidades dos ventos características do clima da cidade de Manaus, uma estratégia de projeto indicada é a utilização da ventilação e a renovação de ar por insuflamento, não só pelo conforto, mas principalmente por razões de salubridade dos ambientes e dos habitantes em regiões com este tipo de clima.

2.8.1. Índice de conforto térmico

O processo de avaliação do ambiente térmico requer a existência de critérios e valores limites de referência baseados nos índices e escalas de conforto térmico. No intuito de quantificar o comportamento humano ante as variações térmicas do ambiente, são definidos índices que expressam a relação entre causa e efeito, com a utilização de valores numéricos representativos do fenômeno.

Com base nos índices, estabelecem-se as zonas de conforto térmico delimitadas graficamente sobre diversos tipos de nomogramas ou através de cartas e diagramas que limitam os parâmetros físicos e definem o domínio no qual se estabelecem as zonas de conforto térmico.

As escalas de conforto térmico podem ser semânticas ou numéricas, sendo montadas em termos de sensações subjetivas graduadas por conforto e desconforto térmico, relacionando-se tais graduações com os parâmetros físicos de estímulo. Atualmente, os índices evoluíram e os modelos de conforto estão sendo desenvolvidos com o apoio da informática. As condições de

conforto térmico dependem da atividade desenvolvida pelo indivíduo, da sua vestimenta e das variáveis do ambiente que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Além disso, devem ser consideradas outras variáveis como sexo, idade, biotipo, hábitos alimentares etc. (BARBOSA, 1999).

Observações acerca do rendimento do trabalho em minas, na Inglaterra, mostraram o seguinte: o mineiro rende 41% menos quando a temperatura efetiva é 27°C, com relação ao rendimento à temperatura efetiva de 19°C.

Foram também observadas variações de produção em indústrias, segundo a mudança das estações do ano, havendo, ainda, estudos que correlacionam ambientes termicamente desconfortáveis com índices elevados de acidentes no trabalho.

Os índices de conforto térmico procuram englobar, num parâmetro, o efeito conjunto dessas variáveis. E, em geral, esses índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta utilizada pelo indivíduo para, a partir daí, relacionar as variáveis do ambiente e reunir, sob a forma de cartas nomogramas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais por parte dos indivíduos.

2.8.2. Classificação dos índices de conforto

Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos com base em diferentes aspectos do conforto e podem ser classificados como a seguir:

- índices biofísicos — que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos;
- índices fisiológicos — que se baseiam nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar;
- índices subjetivos — que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

2.8.3. Escolha do índice de conforto

A escolha de um ou outro tipo de índice de conforto deve estar relacionada com as condições ambientais com a atividade desenvolvida pelo indivíduo, pela maior ou menor importância de um ou de outro aspecto do conforto.

Há condições termo-higrométricas que podem, mesmo que apenas por algum tempo, ser consideradas como de conforto em termos de sensação e provocar distúrbios fisiológicos ao fim

desse tempo. É o caso, por exemplo, de indivíduos expostos a condições de baixo teor de umidade e que, não percebendo que estão transpirando porque o suor é evaporado rapidamente, não tomam líquido em quantidade suficiente e se desidratam.

Conforme define a NBR 15220-1/2005 (ABNT, 2005), conforto térmico está ligado à satisfação psicofisiológica do indivíduo, às condições térmicas do ambiente. Pois as habitações, além de terem a função de abrigar o homem e proteger do sol, dos ventos, das chuvas e outros perigos, também lhe devem propiciar conforto. Conforme destaca Lamberts (1996), o ser humano foi tornando seu abrigo cada vez mais adequado às suas necessidades, sobretudo com relação ao conforto.

2.8.4. Normas e metodologias para avaliar o desempenho térmico

Visando garantir a um padrão da qualidade aceito pela sociedade, proteger o consumidor e garantir a segurança, entidades organizadas elaboram normas técnicas a serem obedecidas no processo produtivo com relação a procedimentos, padronização, métodos de ensaios, terminologia, simbologia e classificação.

Existem diversas normas que definem os padrões de desempenho térmico de edificações para construir e fornecer habitações de interesse social. No Brasil, a ABNT - procura desenvolver estas normas através dos seus diversos comitês, nas diversas áreas. Outras normas também podem ser citadas: ISO, AMN, CEN, ASTM ASHRAE e BS.

Visando fundamentar a investigação proposta, realizou-se um estudo das normas e a revisão de literatura sobre os estudos mais relevantes referentes às metodologias de avaliação do desempenho térmico de habitações, onde a Norma NBR - 15220 da ABNT - metodologia de avaliação do desempenho térmico, foi a referência.

A norma de conforto ambiental, Desempenho térmico de edificações: procedimentos para avaliação de habitações de interesse social (desenvolvido pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil, liderado pela UFSC) foi aprovada pela Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações em 2003, tendo sido publicada pela ABNT em abril de 2005, quando entrou em vigor.

Os textos da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) estão divididos em cinco partes, a saber:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica em regime estacionário pelo método fluximétrico.

Esta norma apresenta recomendações para avaliar o desempenho térmico de habitações de interesse social, recomendando limites mínimos de conforto térmico. A metodologia adota um zoneamento bioclimático do Brasil, que propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas quanto ao clima, adaptando a Carta Bioclimática sugerida por GIVONI (1992).

Para cada uma destas zonas, são apresentadas recomendações tecnoconstrutivas de adequação climática, visando aperfeiçoar o desempenho térmico das edificações, tais como:

- O tamanho das aberturas para ventilação e a proteção destas;
- Vedações externas (tipo de parede externa e cobertura, considerando-se transmitância térmica, atraso térmico e absorvância à radiação solar);
- Estratégias de condicionamento térmico passivo.

Identificado o local da construção no Zoneamento Bioclimático Brasileiro, estabelecido pela Norma de Desempenho Térmico de Edificações, são fornecidas as diretrizes construtivas para cada uma das oito Zonas Bioclimática.

No Anexo A da referida Norma, encontra-se uma tabela com 330 cidades, cujos climas foram classificados, indicando-se a Zona Bioclimática na qual a cidade está inserida e as estratégias recomendadas. No caso, deste trabalho a cidade de Natal-RN encontra-se classificada na Zona Bioclimática 8.

2.8.5. Outras normas ou recomendações

Sendo a ASHRAE uma entidade de grande prestígio entre o meio tecnológico e científico, as suas normas têm sido muito empregadas na definição de zonas de conforto e na estruturação de cartas bioclimáticas.

A norma norte-americana ASHRAE 55-2004 (ASHRAE, 2004) é muito utilizada para estudos de conforto térmico, por ser bastante abrangente, incluindo informações sobre isolamento das vestimentas, medições dos períodos e localizações, desconforto com correntes de ar. Esta considera a temperatura efetiva (TE) como índice para definir limites, mas distingue as zonas de conforto para o verão e para o inverno.

Essa norma americana é uma revisão de uma norma anterior, a ASHRAE Standard 55-1981. Apresenta, como principais alterações, na atual versão a inclusão de definições mais

completas e mais detalhamento sobre isolamento térmico das vestimentas, períodos e locais apropriados de medições, desconforto devido às correntes de ar e bibliografia bem mais atualizada.

A norma ASHRAE 55-2004 especifica uma zona de conforto com limites constantes para temperatura do ar e umidade, na carta psicrométrica, mantidos por sistema mecânico, considerando pessoas em atividade sedentária.

Este sistema foi desenvolvido para edifícios de escritórios com ar condicionado, mas também pode ser usada na avaliação de edifícios residenciais.

Nessa norma da ASHRAE para as condições de ar parado (0,15 m/s no inverno e 0,25 m/s no verão), o limite máximo para temperatura aceitável no verão vai de 26°C (conteúdo de umidade = 12 g/kg) a 27°C (conteúdo de umidade = 4,5 g/kg). O limite máximo da umidade relativa do ar é de 60%.

Elevando-se a velocidade do ar, aumenta-se o limite máximo de temperatura do ar, sendo que para cada acréscimo de 0,275 m/s é elevado de 1°C. Acima de 28°C, a velocidade de 0,8 m/s é o valor máximo permitido para o ar no interior.

Em relação às exigências humanas de conforto em uma edificação, a norma ASHRAE 55 : 2004 considera a necessidade de que 80% dos ocupantes expressem satisfação com as condições ambientais internas de conforto.

2.8.6. A Norma ISO 7730

A Norma ISO 7730 (1994) aplica-se à avaliação de ambientes térmicos moderados. Assim, através de parâmetros físicos de um ambiente, tais como: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar, bem como os parâmetros pessoais como atividade desempenhada e vestimenta utilizada pelas pessoas, conhecidos ou medidos, a sensação térmica para o todo pode ser estimada pelo cálculo do índice do voto médio estimado, o PMV.

Esta norma estabelece critérios para levantar a sensação de conforto térmico em ambientes, através do PMV (índice que estima o valor médio dos votos de um grupo de pessoas na escala de sensação térmica) e o PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas com o conforto térmico do ambiente).

As condições de conforto térmico são estimadas por meio dos índices PMV e PPD (FANGER, 1970), e o índice PMV representa a sensação térmica esperada dos usuários, conforme a seguinte escala:

- Muito quente (3);
- Quente (2);
- Levemente quente (1);
- Normal / Confortável (0);
- Levemente frio (-1);
- Frio (-2);
- Muito frio (-3).

Além das recomendações das normas ASHRAE e ISO, muitos pesquisadores, dentre eles Givoni (1992); Fanger (1970) e Szokolay (1995) têm estudado o assunto e proposto metodologias para avaliação do desempenho térmico de edificações.

A seguir, na Tabela 1, é apresentado um resumo dos limites de conforto térmico proposto por diversas metodologias.

Tabela 1. Limites de conforto térmico para várias metodologias.

Fonte: (SANTOS, 2008b)

METODOLOGIA	TEMPERATURA		UMIDADE		OBSERVAÇÃO
	limite mínimo	limite máximo	limite mínimo	limite máximo	
ASHRAE 55-74	> 20,0 °C TE*	< 26,1 °C TE*	> 5 mm Hg	< 14 mm Hg	
ASHRAE 55-81	> 23 °C TE* > 20 °C TE*	< 27 °C TE* < 24 °C TE*	> 4 g/kg	< 12 g/kg	verão inverno
ASHRAE 55-2004	> 23 °C TE* > 20 °C TE*	< 26 °C TE* < 23,5 °C TE*	> 4,5 g/kg e 30%	< 60%	verão inverno
GIVONI original	> 21 °C	< 26 °C < 25 °C	> 5 mm Hg	< 17 mm Hg e 80%	baixa umidade altas umidades
GIVONI E MILNE	> 22,7 °C > 20 °C	< 27 °C < 24 °C	> 20%	< 80%	verão inverno
GONZALEZ	> 22 °C	< 29 °C < 26,5 °C	> 4 g/kg	< 14 g/kg ou 75%	baixa umidade altas umidades
GIVONI 92 Países Desenvolvidos	> 20 °C > 18 °C	< 27 °C < 25 °C	> 4,0 g/kg	< 80% e 15 g/kg	verão inverno
GIVONI 92 Países em Desenvolvimento	18 °C	< 29 °C < 26 °C	> 4 g/kg	< 80% e 17 g/kg baixa umidade altas umidades	verão baixa umidade
SZOKOLAY	> 18 °C TMA± 2 K SET 18,5 °C TMM± 1,75K SET	< 25 °C 28,5 °C	> 4 g/kg	< 12 g/kg	inverno limites variáveis com o clima local
WATSON & LABS	> 20 °C TE*	< 25,6 °C TE*	> 5 mm Hg	< 80%	
ABNT - NBR 6401/80	23 °C 20 °C	26,5 °C 22 °C	40 % 35 %	65 % 65 %	verão inverno
PNBR 02:136.01	≥ 17 °C	≤ 27 °C			Nível Superior

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Composição do bloco

O compósito proposto foi confeccionado utilizando, em volumes de iguais proporções, cimento, gesso, areia, isopor triturado, e raspa de pneu. Água foi acrescida na proporção aproximada de 30% do volume seco, para a realização da mistura e homogeneização do compósito.

O compósito acima apresentado foi selecionado dentre as duas composições ensaiadas na verificação de condutividade térmica e de resistência à compressão, ensaios estes, apresentados nos subitens 4.1 e 4.2 do item 4. A escolha por este compósito é justificada no citado item.

3.2. Origem das matérias primas utilizadas na confecção do bloco

EPS triturado

O EPS usado para a produção do compósito é aquele que é descartado de embalagens de eletrodomésticos, eletrônicos, moveis, enfim material que iria para o lixo, como os da Figura 13. Para ser usado no compósito, é necessário triturar o EPS.



Figura 13. Embalagens de EPS usadas como matéria prima para produção do compósito.

Para a obtenção do EPS triturado, foi utilizado um triturador de EPS localizado no Laboratório de Máquinas Hidráulicas que foi construído para este fim em trabalhos anteriores. Tal equipamento possui um disco de fabricação manual com múltiplas perfurações acoplado a um motor elétrico de 0,75 CV. Na Figura 14 é mostrado o disco e na Figura 15 pode-se ver o EPS triturado.



Figura 14. Triturador de EPS - Laboratório de Máquinas Hidráulicas (UFRN).



Figura 15. EPS triturado para ser usado no compósito.

O EPS triturado nessa forma é de suma importância para a mistura do compósito, já que é obtida, na faixa de 8,0 a 12,0 mesh (2,38 mm a 1,68 mm) e permite uma melhor homogeneização. Foi observado que, quando se usava uma granulometria maior que 8,0 mesh, no momento que água era adicionada, a força do empuxo agia sobre o EPS, deixando um grande número de partículas na superfície quando a mistura era colocada no molde.

Cimento e Gesso

Estes itens foram adquiridos no comércio varejista da Cidade do Natal. Quanto ao cimento, foi comprado o tipo CP I, o mais comum nas lojas de material de construção. Com relação ao gesso, foi utilizado o gesso de pega rápida, a fim de reduzir o tempo de desenforme.

Areia

Foi utilizada a areia de granulometria média (0,250 a 0,50 mm de diâmetro), lavada e peneirada, a qual já estava disponível nas instalações dos laboratórios do Núcleo Tecnológico da UFRN. No entanto, no cálculo dos custos relacionados à confecção do bloco, tal custo não foi ignorado.

Raspa de Pneu

Foi adquirida em recuperadoras de pneu localizadas na Região Metropolitana da Cidade do Natal, a qual era vendida em fardos de aproximadamente 50 kg.

3.3. Confecção dos blocos

A casa experimental na realidade é constituída por um único cômodo cujas paredes são construídas com blocos com área de vedação de $0,182 \text{ m}^2$ ($0,52 \text{ m} \times 0,35 \text{ m}$) e espessura de parede de 13 cm, conforme é mostrado na Figura 16.

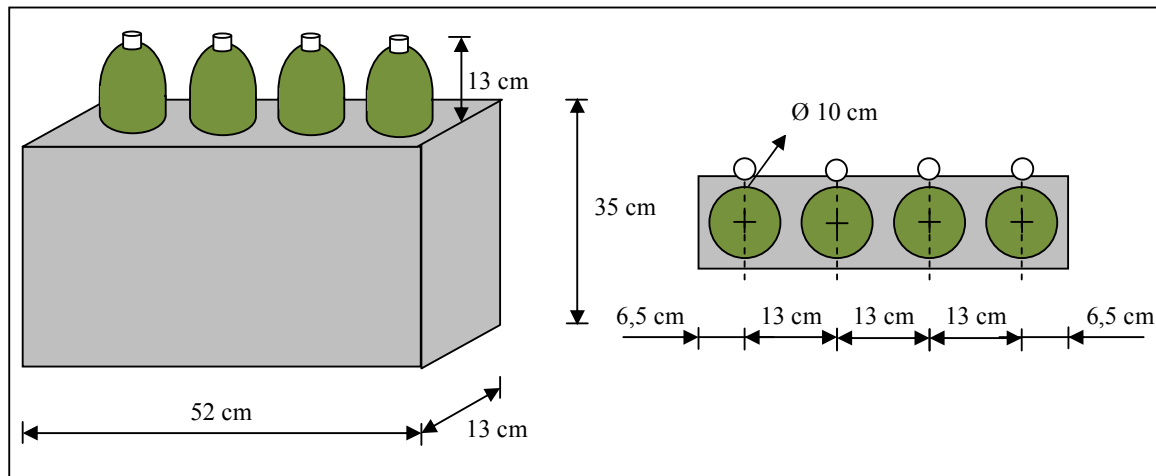


Figura 16: Dimensional dos blocos

Para a confecção de cada bloco foram utilizadas 8 garrafas PET de 2 litros do tipo lisa, encaixadas duas a duas onde, as inferiores se enchem com água para que o compósito não se comprimisse e também para evitar que as mesmas não flutuassem. As garrafas encaixadas no topo das primeiras tiveram, para que o encaixe fosse permitido, o fundo seccionado. Após a montagem destes conjuntos, os mesmos eram posicionados no interior da forma.

O desenforme ocorria cerca de 10 min após o enchimento da forma. Na sequência de Figuras de 18 a 28 é mostrado o encadeamento de montagem da forma e o fabrico dos blocos.



Figura 17: Componentes da forma.



Figura 18: Montagem da base e paredes laterais da forma.



Figura 19: Montagem final da forma.



Figura 20: Preparação e montagem das garrafas.



Figura 21: Posicionamento das garrafas no interior da forma.



Figura 22: Forma pronta para receber o compósito.



Figura 23: Mistura seca do compósito.



Figura 24: Preparação do compósito.



Figura 25: Enchimento da forma com o compósito.



Figura 26: Compósito aguardando tempo de cura para o desenforme.



Figura 27: Bloco após desenformado e corte do fundo das garrafas inferiores.

Os fundos das garrafas montadas na parte inferior do conjunto eram seccionados 24 h depois de desenformado o bloco, sendo também descartada nesta operação, a água contida no interior da garrafa. Se necessário, o bloco já estaria pronto para montagem imediata das paredes da casa.

A fabricação dos blocos foi executada, inicialmente, através de moldes de madeira, porém, estes rapidamente se estragavam devido à umidade do compósito, mostrando-se inadequado. Posteriormente, foi desenvolvida uma forma de aço.

3.4. Construção da casa experimental

Após a confecção de todos os blocos necessários para a construção do cômodo, partiu-se, então, para o levantamento das paredes deste, sendo seguidas as seguintes etapas iniciais:

1. Demarcação e nivelamento do terreno;
2. Escavação do terreno para preparação do alicerce;
3. Colocação de pedra marruada e concreto no lugar escavado;
4. Construção do baldrame formado por fileiras de tijolos de cerâmica vermelha de oito furos.

Depois que o alicerce estava pronto começou a segunda etapa que foi o assentamento dos blocos para o levantamento do cômodo. Após montadas as paredes através do encaixe dos blocos uns nos outros, as fendas existentes entre os blocos (ocasionadas devido à forma artesanal do fabrico dos blocos) foram vedadas utilizando o mesmo compósito empregado na confecção do bloco.

O referido cômodo possui uma área interna de $12,50 \text{ m}^2$ ($5,00 \text{ m} \times 2,50 \text{ m}$) e a altura das paredes varia entre $2,20 \text{ m}$ e $2,40 \text{ m}$. A cobertura foi realizada com telhas de fibrocimento. Abaixo, na Figura 17, é mostrada a planta baixa do referido cômodo, localizando os pontos onde foram realizadas as medidas de temperatura nas paredes. Nas Figuras de 29 a 31 são apresentadas a forma de encaixe e as paredes edificadas com os blocos.

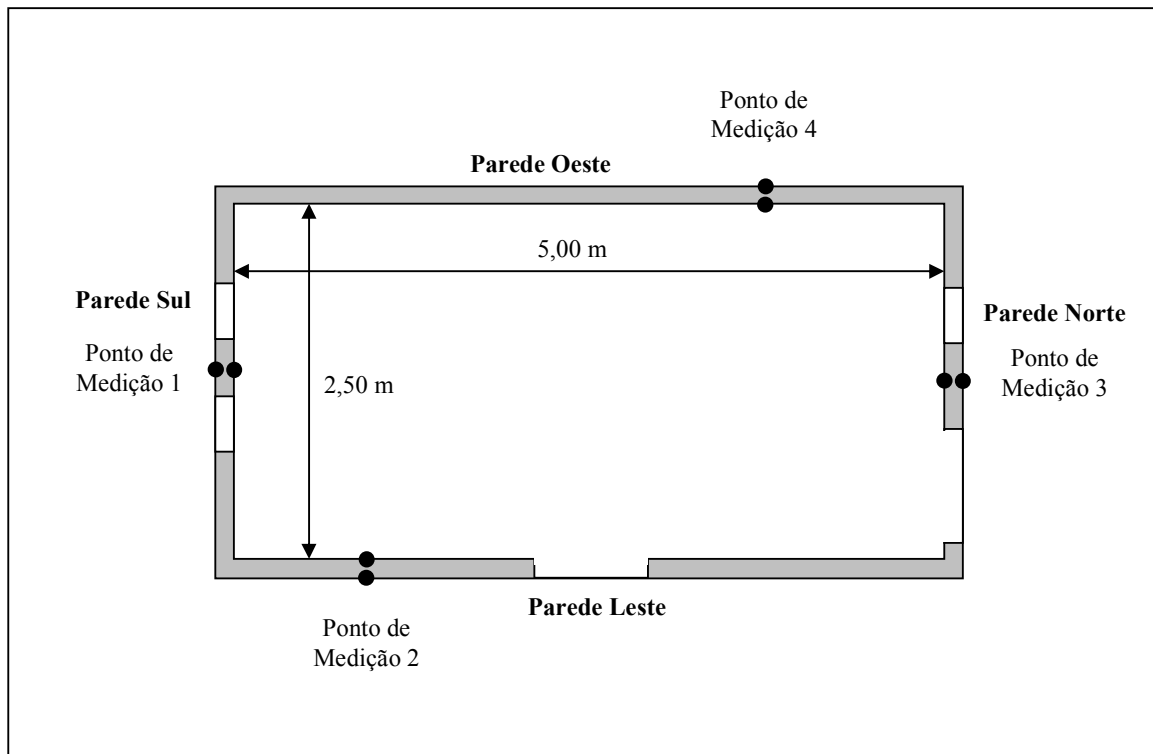


Figura 28: Planta baixa e localização dos Pontos de Medição.



Figura 29. Montagem (encaixe) dos blocos a serem utilizados na edificação proposta.



Figura 30. Vista da parede “Leste” com todos os blocos assentados.



Figura 31. Vista das paredes Leste e Sul com todos os blocos assentados.

O assentamento dos blocos apresentou algumas dificuldades ocasionadas pelo tamanho do bloco já que era difícil manter a estabilidade a partir da segunda linha de blocos, originando as citadas fendas, as quais, como já afirmado, foram vedadas com o mesmo compósito utilizado na confecção dos blocos. Por último, o cômodo foi coberto com telhas de fibrocimento, conforme a ilustrada na Figura 32.



Figura 32. Telha de fibrocimento utilizada como cobertura da unidade habitacional.

3.5. Determinação das propriedades termofísicas do compósito

Inexistindo no laboratório um equipamento que pudesse medir de forma direta a condutividade térmica do compósito proposto, foram realizados ensaios para a determinação desta propriedade utilizando um equipamento desenvolvido no próprio laboratório para este fim, o qual fornecia este resultado de forma indireta.

Nesta metodologia, corpos de prova foram submetidos à radiação advinda de uma lâmpada incandescente de 100 W fixada em um suporte, com iluminação frontal proporcionada pelo envolvimento do corpo de prova em papel alumínio. A luz é direcionada à amostra através de um cano PVC pintado internamente com preto fosco, mantendo-se constante a distância entre a lâmpada e o corpo de prova, garantindo-se um valor constante de radiação recebida pelo último, conforme é ilustrado na Figura 33.

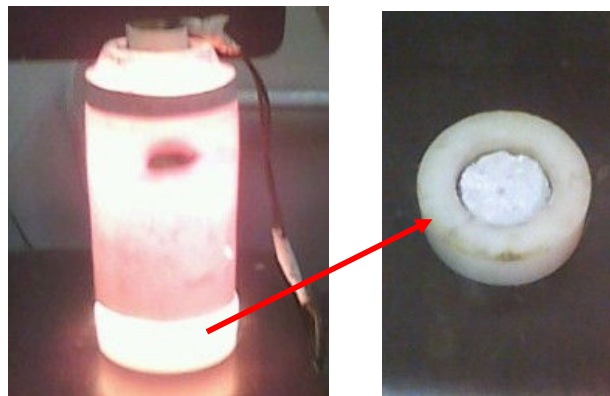


Figura 33: Instrumento alternativo para medir de modo indireto a condutividade térmica.

Para a determinação da condutividade térmica, acompanha-se o aquecimento do corpo de prova até a estabilização a temperatura deste e mede-se a temperatura na face sob incidência direta da radiação e na face oposta. A seguir, com o auxílio do medidor de radiação *Instrutherm* (mostrado na Figura 34), é medida a radiação que chega à amostra. De posse destes dados, é utilizada a Equação 1.

$$K = P L / \Delta T \quad (1)$$

Onde:

K é a condutividade térmica (W/m °C);

P é a radiação por medida de área (W/m²);

L é o comprimento linear do corpo de prova (m);

ΔT é a variação de temperatura observada (°C).



Figura 34. *Instrutherm* – Instrumento utilizado para medir a radiação.

3.6. Propriedades mecânicas e outras propriedades do compósito

3.6.1. Ensaio de resistência à compressão

Para avaliar a resistência mecânica dos blocos foi realizado um ensaio de resistência a compressão, esse ensaio verifica a capacidade de carga que os blocos cerâmicos suportam quando submetidos a forças exercidas perpendicularmente sobre suas faces opostas e determina se as amostras oferecem resistência mecânica adequada, simulando a pressão exercida pelo peso da construção sobre os blocos. O não atendimento aos parâmetros normativos mínimos

indica que a parede poderá apresentar problemas estruturais como rachaduras e, conseqüentemente, oferecerá riscos de desabamento à construção.

Foram realizados ensaios de resistência à compressão no Laboratório de Concreto da UFRN utilizando-se uma prensa hidráulica com tensão de alimentação de 220 V – 380 V e carga máxima de 300 toneladas. As normas utilizadas como referência foram a NBR 15270-1/2005 (ABNT, 2005c) e a NBR 15270-3/2005 (ABNT, 2005d). O método de ensaio e as especificações de resistências mínimas referem-se à aplicação (no caso, vedação) e não ao tipo de material do qual os blocos são fabricados.

A resistência à compressão dos blocos cerâmicos de vedação, calculada na área bruta, deve atender aos valores mínimos indicados na tabela 2.

Tabela 2. Valores de resistência à compressão mínima segundo norma da ABNT.

Fonte: NBR 15270-1/2005 (ABNT, 2005c)

Posição dos furos	RC (MPa)
Para blocos usados com furos na horizontal	$\geq 1,5$
Para blocos usados com furos na vertical	$\geq 3,0$

3.6.2. Densidade e porosidade

Para a determinação da densidade e da porosidade do compósito foram feitos corpos de prova usando corpos descartáveis de 150 cm³, devidamente aferidos usando uma proveta de precisão, ai então eles eram pesados, depois de curados esses corpos foram medidos suas massas. A densidade aparente leva em consideração o volume aparente que é a soma do volume de sólidos (V_s) e volume de poros (V_p) presentes no material e pode ser expressa na Equação 2:

$$\rho_a = \frac{m}{v_a} = \frac{m}{v_s + v_p} \quad (2)$$

Onde:

ρ_a = densidade aparente do compósito (g/cm³);

m = massa medida em balança (g);

v_s = volume de sólidos (cm³);

v_p = volume de poros (cm³).

Para efeito de cálculos o volume ocupado pelo compósito no copo descartável, é considerado o volume aparente do material.

A densidade real leva em consideração apenas o volume de sólidos do material, desprezando o volume de poros, para calcular o volume de sólidos os corpos de prova eram mergulhados em água até que todas as bolhas de ar presentes no compósito deixassem o material. Os corpos de prova eram mergulhadas em uma proveta com 600 ml de água, onde verificava-se o quanto deslocou em relação as volume inicial, a diferença entre esses volumes será o volume de sólidos da amostra (V_s). Com o auxílio da Equação 3, calcula-se os valores da densidade das amostras:

$$\rho_r = \frac{m}{V_s} = \frac{m}{V_f - V_i} \quad (3)$$

Onde:

ρ_r = densidade real do compósito (g/cm^3);

m = massa medida em balança (g);

V_s = volume de sólidos (cm^3);

V_f = volume da proveta com corpo de prova mergulhado (cm^3);

V_i = volume inicial da proveta (cm^3).

Para o calculo da porosidade foi usada a Equação 4:

$$\eta = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (4)$$

Onde:

η = porosidade do compósito;

ρ_a = densidade aparente do compósito (g/cm^3);

ρ_r = densidade real do compósito (g/cm^3).

3.7. Área de estudo - A cidade do Natal-RN

A cidade do Natal está localizada no cruzamento das coordenadas geográficas, 05°47'42" latitude Sul e 35°12'32" longitude Oeste. Sua altitude média em relação ao nível mar é de 30 metros. Seu clima é o tropical úmido, com temperatura média em torno de 28 °C.

Devido a sua proximidade com a Linha do Equador, alguns dias na capital potiguar chegam a ter 15 horas de sol. Durante todo o ano não se percebem mudanças drásticas no clima (salvo exceções), tendo como resultado um inverno quente, marcado apenas por chuvas entre os meses de julho e agosto.

Devido a sua localização privilegiada no continente, Natal recebe ventos constantes, o que torna o clima mais agradável e que segundo um estudo feito pela NASA, a cidade torna-se a detentora do ar mais puro das Américas. Além disso, as dunas de areia funcionam como filtro natural para a água.

Segundo meteorologistas é a cidade mais agradável, em questão de temperatura, para se viver em todo o Brasil. A menor temperatura registrada foi de 17,2°C no dia 3 de junho de 1973 e a maior foi de 34,6°C no dia 8 de janeiro de 1989. Na Figura 35, mapa da região em estudo.

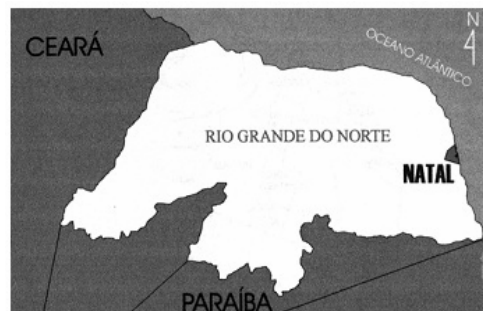


Figura 35. Mapa do estado do Rio Grande do Norte destacando Natal

3.8. Desempenho térmico e de conforto da unidade habitacional

A metodologia utilizada para descrição e avaliação do desempenho térmico na unidade habitacional estudada basicamente utilizou dois métodos para análise: avaliação por desempenho e avaliação por frequências de temperatura.

A zona de conforto térmico de Givoni (1992) para países de clima quente e em desenvolvimento foi escolhida como representativa para pessoas adaptadas aos climas existentes no Brasil.

Na avaliação dos elementos construtivos levantados nas unidades habitacionais em estudo, buscou-se referência na NBR 15220-3/2005 (ABNT, 2005b) e sua aplicabilidade para esta região de estudo.

A referida norma faz recomendações construtivas específicas para cada Zona Bioclimática, sendo utilizada como parâmetro na análise por prescrição dos dados construtivos

coletados na unidade habitacional, mais especificamente a Zona Bioclimática 8, conforme é apresentado na Figura 36, onde esta situada a cidade de Natal.

A avaliação por prescrição dos dados coletados servirá para verificação das exigências mínimas construtivas dos pacotes prescritivos para o clima de Natal, fornecidos pela NBR 15220-3/2005 (Zoneamento Bioclimático Brasileiro).

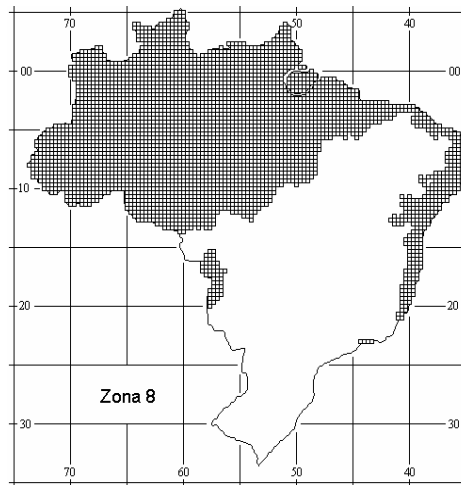


Figura 36. Zona Bioclimática 8 (área hachurada)

Fonte: NBR 15270-3/2005 (ABNT, 2005b)

3.8.1. Zona de conforto considerada

Para verificação do cumprimento dos limites dos parâmetros térmicos dos ambientes analisados, utilizou-se a zona de conforto Givoni (1992) para países em desenvolvimento com clima quente. A mesma recomenda para o interior, temperaturas variando de 18 a 29°C, podendo-se admitir até 32°C para velocidades do ar de 2 m/s, em ambientes onde não haja trabalhos de escritório. A umidade pode variar de 4 g/kg a 80% de UR no inverno e de 4,0 g/kg a 17,0 g/kg no verão.

3.8.2. Levantamento dos dados para análise do conforto térmico

A análise do desempenho térmico das unidades residenciais foi feita para o período diurno, considerado o período mais crítico para o desempenho térmico das edificações considerando as características do clima local.

A coleta dos dados foi feita usando os seguintes aparelhos, termo higrômetro digital THG 312, com resolução de temperatura de 0,1° C, faixa de temperatura de -5,0°C a 70,0°C e umidade relativa 25% a 95%; termômetro digital com dois canais, termopares de cromel-

alumel, faixa de temperatura de $-200,0$ a $+1200,0^{\circ}\text{C}$, com resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$; anemômetro digital com faixa de velocidade de vento de $0,1$ m/s a 30 m/s.

Foram medidas as temperaturas do ar dentro da unidade habitacional, a velocidade do ar circulante, as temperaturas em dois pontos das faces internas e externas de todas as paredes, a umidade relativa do ar dentro da habitação. Essas medições foram registradas a cada meia hora, durante cinco dias, sob boas condições solarimétricas. Em cada parede foram medidos dois pontos, tanto na parte interna como na parte externa. A cada parede deu-se a nomenclatura de uma coordenada geográfica.

Assim, os dados climáticos diurnos externos e internos da unidade habitacional foram analisados quanto à frequência de temperaturas e umidade dentro da zona de conforto de Givoni (1992), quantificando assim as horas de conforto e desconforto naquele período.

3.9. Comparativo: valores dos blocos de compósito X tijolos cerâmicos

Foi realizado um comparativo de custos entre a construção de uma parede utilizando os blocos confeccionados com o compósito proposto e outra confeccionada com tijolos cerâmicos tradicionais (tijolos de oito furos confeccionados com argila e cozidos). No capítulo 4 será apresentada a comparação econômica estudada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Ensaio realizados para determinação das propriedades

4.1.1. Condutividade térmica

Abaixo são apresentados os valores de condutividade térmica obtidos para as duas composições ensaiadas, sendo que na Tabela 3 é apresentada a composição 0,67 parte em volume de cimento somada a 1 parte de cada um dos demais componentes, enquanto que, na Tabela 4 é apresentada a composição na qual foram utilizadas partes iguais em volume de cada componente.

Tabela 3. Compósito 0,67 parte de cimento e 1 parte de cada um dos demais componentes.

Corpo de Prova	Radiação (W/m ²)	ΔT (°C)	K(W/m.C)
1	1.000	32,5	0,308
2	1.000	33,3	0,300
3	1.000	33,8	0,296
média		33,2 ± 0,7	0,301 ± 0,006

Tabela 4. Compósito de iguais proporções entre os componentes.

AMOSTRA	Radiação (W/m ²)	ΔT (°C)	K(W/m.°C)
1	1.000	32,2	0,312
2	1.000	33,4	0,299
3	1.000	32,9	0,304
média		32,8 ± 0,6	0,305 ± 0,007

A diferença entre as condutividades térmicas dos dois compósitos analisados demonstram que, com relação à condutividade térmica, tanto um como outro poderiam ser utilizados, recaindo sobre outros critérios a escolha do compósito a ser utilizado.

Tomando por base os estudos já realizados por Santos (2008b) em projeto semelhante, sabe-se que uma maior proporção de EPS no compósito, além de reduzir seu peso, determina também a redução da condutividade térmica do compósito. Essa redução corresponderia a aproximadamente 20%, para um aumento de 50% na proporção em volume de EPS. O aumento de 50 % em volume de EPS corresponde a um aumento de 36,4% em volume na proporção desse componente na mistura total do compósito.

A despeito de uma maior proporção de EPS reduzir significativamente o peso e a condutividade térmica de um compósito, proporções mais elevadas desse material impedem a realização de uma mistura homogênea do material compósito, devido a concentração desse “excedente” de EPS na região superior do bloco. O resultado disso é um bloco heterogêneo na sua composição, e conseqüentemente bastante resistente em sua região inferior e frágil na superior. As proporções ensaiadas apresentaram boa mistura entre seus componentes, produzindo uma massa homogênea, o que garante a confecção de blocos com propriedades homogêneas em toda a sua extensão.

Comparando os resultados obtidos nos ensaios com os valores de condutividade térmica de outros materiais bastante comuns na construção civil, apresentados na Tabela 5, percebe-se que estes resultados são significativos.

Tabela 5. Valores de condutividade térmica de alguns materiais comuns na construção civil

Material	Condutividade Térmica $K(W/m.^{\circ}C)$
Cerâmica	1,06
Concreto leve	1,10
Concreto armado	1,51
EPS	0,03
Gesso	0,46
Madeira	0,16
Reboco	0,79
Tijolo cerâmico	0,61

4.1.2. Ensaio de resistência à compressão

Na Tabela 6 são apresentados os valores de resistência à compressão, obtidos para as duas composições ensaiadas, após 28 dias de cura. Os ensaios foram realizados conforme específica a NBR 15270-3/2005 (ABNT, 2005).

Tabela 6. Valores de resistência à compressão das composições ensaiadas.

	Composição 0,67 parte de cimento. Tensão RC (MPa)	Composição partes iguais. Tensão RC (MPa)
CP 1	2,80	3,62
CP 2	2,96	3,52
CP 3	2,96	3,82
CP 4	2,80	3,72
CP 5	2,65	3,57
MÉDIA	2,83 ± 0,13	3,65 ± 0,12

Com relação à composição contendo 0,67 parte em volume de cimento, os valores de resistência à compressão para todos os corpos de prova ficaram em média 5,7% abaixo do limite estabelecido pela NBR 15270-1/2005 (ABNT, 2005), a qual determina RC mínima de 3 MPa para blocos com furos dispostos na vertical, demonstrando a inviabilidade de utilização desta proporção para a confecção de blocos a serem utilizados na construção de alvenaria de fechamento.

Já com relação à composição contendo partes iguais em volume de todos os componentes, os valores de resistência à compressão para todos os corpos de prova já apresentavam valores próximos do limite estabelecido pela norma já a partir do 7º dia de cura, o que demonstra a boa resistência mecânica que o compósito apresenta. O valor médio para os 28 dias de cura foi 21,7% superior ao limite exigido pela norma, demonstrando a viabilidade de utilização do compósito para a construção de alvenaria de fechamento.

Assim sendo, a composição contendo partes iguais em volume de todos os componentes foi escolhida por apresentar resistência mecânica compatível para blocos de vedação, conforme específica a NBR 15270-3/2005 (ABNT, 2005).

4.1.3. Densidade e porosidade do compósito

Foram realizados ensaios para a determinação de densidade e porosidade com cinco corpos de prova apenas para a composição contendo partes iguais em volume de todos os componentes, pois esta foi a escolhida para a edificação do cômodo experimental, de acordo com os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão. Os resultados dos ensaios para a determinação de densidade e porosidade são apresentados nas Tabelas 7 e 8:

Tabela 7: Densidade no desenforme, densidade aparente e massa de água perdida.

Corpo de Prova	corpo de prova recém desenformado		corpo de prova seco		massa de água perdida	
	massa (g)	ρ (g/cm ³)	massa (g)	ρ (g/cm ³)	massa (g)	%
CP 1	244,6	1,63	189,9	1,27	54,7	22,36
CP 2	253,3	1,69	197,0	1,31	56,3	22,23
CP 3	243,7	1,62	186,7	1,24	57,0	23,39
CP 4	244,8	1,63	190,0	1,27	54,8	22,39
CP 5	248,5	1,66	191,8	1,28	56,7	22,82
Média	247,0 ± 4,0	1,65 ± 0,03	191,1 ± 3,8	1,27 ± 0,03	55,9 ± 1,1	22,63 ± 0,48

Como a proporção de água na mistura correspondeu a 30% em volume, percebe-se que o percentual de massa restante após a cura ficou em média 7,37%, com valor máximo de 7,77% e mínimo de 6,61%.

Tabela 8. Valores de densidade aparente, densidade real e porosidade.

Corpo de Prova	Massa (g)	Volume aparente (cm ³)	Volume na proveta		$v_f - v_i = v_s$	ρ_a (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	Porosidade (η)
			Volume Inicial v_i (cm ³)	Volume final v_f (cm ³)				
CP 1	189,9	150	600	738	138	1,27	1,38	0,08
CP 2	197,0	150	600	742	142	1,31	1,39	0,05
CP 3	186,7	150	600	744	144	1,24	1,30	0,04
CP 4	190,0	150	600	731	131	1,27	1,45	0,13
CP 5	191,8	150	600	733	133	1,28	1,44	0,11
Média	191,1 ± 3,8	150	600	737,6 ± 5,6	137,6 ± 5,6	1,27 ± 0,03	1,39 ± 0,06	0,08 ± 0,04

A presença de poros no compósito favorece a redução da condutividade térmica deste, porém, em função da concentração de energia que estes promovem, induz a formação de fissuras, as quais podem apresentar rápida propagação quando não há processos que absorvam de maneira significativa a essa energia.

A presença de borracha no compósito faz com que a propagação de tensões neste seja contida ou retardada (MENEGUINI, 2003).

4.2 Análise do desempenho do cômodo experimental

4.2.1 Análise do comportamento da temperatura nas paredes

Os dados coletados diretamente do cômodo experimental em estudo são apresentados a seguir por intermédio de tabelas e gráficos que permitem visualizar e compará-los. São apresentados os valores medidos das temperaturas das faces internas e externas das paredes do referido cômodo. Os pontos de medição, conforme pode ser observado na Figura 16, estavam assim dispostos:

- ⇒ Ponto de Medição 1: localizado na parede voltada para a coordenada geográfica SUL;
- ⇒ Ponto de Medição 2: localizado na parede voltada para a coordenada geográfica LESTE;
- ⇒ Ponto de Medição 3: localizado na parede voltada para a coordenada geográfica NORTE;
- ⇒ Ponto de Medição 4: localizado na parede voltada para a coordenada geográfica OESTE;

Os dados foram coletados durante o mês de abril de 2010 entre as 9 e as 15 horas (horário de maior insolação). Durante a realização dos ensaios acima mencionados, foram observados que:

Parede SUL: Esteve durante todo o tempo à sombra, apresentando diferenças de temperatura abaixo de 1 °C durante quase todo o tempo.

Parede LESTE: Esteve durante boa parte do período matutino exposto ao sol, apresentando diferenças de temperatura acima de 10 °C durante quase todo esse tempo. À medida que a sombra progredia (às 11 horas a parede estava totalmente à sombra), esta diferença caiu para valores próximos de 1 °C.

Parede NORTE: Esteve durante todo o tempo exposto ao sol, embora a radiação solar atingisse a parede com pequeno ângulo em relação ao plano da parede em tela. Apesar disso, esta parede apresentou durante a maior parte do tempo diferenças de temperatura acima de 7 °C, chegando a superar os 8°C em alguns momentos.

Parede OESTE: Apresentou, conforme já era esperado, comportamento oposto ao apresentado pela parede leste, permanecendo durante boa parte do período vespertino exposto ao sol. À medida que a sombra deixava a parede (às 12h30min a parede já estava totalmente exposta ao sol), a diferença de temperatura entre as superfícies externa e interna saiu de valores próximos de 1 °C para valores acima de 10 °C nas últimas horas do período experimental.

Na Tabela 9 são apresentados os valores de temperatura obtidos nas faces interna e externa das paredes do cômodo experimental, para avaliar o conforto térmico propiciado pelos blocos de compósito propostos.

Tabela 9. Temperaturas das superfícies interna e externa das paredes analisadas

Horário	Temperatura na parede (°C)											
	Parede Sul (1)			Parede Leste (2)			Parede Norte (3)			Parede Oeste (4)		
	Te ₁	Ti ₁	Te ₁ -Ti ₁	Te ₂	Ti ₂	Te ₂ -Ti ₂	Te ₃	Ti ₃	Te ₃ -Ti ₃	Te ₄	Ti ₄	Te ₄ -Ti ₄
09:00	30,8	30,2	0,6	42,8	31,9	10,9	36,9	31,6	5,3	30,7	29,7	1,0
09:30	31,6	30,8	0,8	44,3	32,7	11,6	38,1	32,1	6,0	30,7	30,2	0,5
10:00	32,0	31,4	0,6	42,6	32,5	10,1	38,5	32,3	6,2	31,8	30,3	1,5
10:30	32,6	31,3	1,3	40,7	33,5	7,2	39,6	33,1	6,5	32,4	30,5	1,9
11:00	32,7	31,8	0,9	36,9	32,6	4,3	40,4	32,3	8,1	32,8	30,0	2,8
11:30	33,1	32,1	1,0	36,1	33,0	3,1	40,0	32,4	7,6	34,2	31,0	3,2
12:00	32,7	32,0	0,7	35,6	33,1	2,5	40,2	33,2	7,0	36,2	32,3	3,9
12:30	33,0	32,2	0,8	34,9	32,8	2,1	41,0	33,8	7,2	38,3	32,7	5,6
13:00	32,8	31,9	0,9	34,5	32,9	1,6	41,7	34,3	7,4	40,0	33,3	6,7
13:30	32,5	31,7	0,8	34,5	32,8	1,7	41,8	34,0	7,8	41,2	33,7	7,5
14:00	32,6	31,7	0,9	34,1	32,6	1,5	42,3	34,2	8,1	42,9	32,6	10,3
14:30	32,1	31,5	0,6	33,4	32,4	1,0	40,6	33,6	7,0	43,5	31,8	11,7
15:00	32,3	31,9	0,4	32,9	31,7	1,2	41,1	33,8	7,3	43,9	32,9	11,0

Para melhor visualização, as medições que apresentaram diferença superior a 5 °C entre as temperaturas das superfícies externa e interna das paredes foram destacadas. Da análise acima mencionada, percebe-se que nos momentos em que qualquer uma das paredes quando completamente exposta à sombra, a diferença de temperatura entre as superfícies externa e interna fica em torno de 1 °C. Quando expostas à plena incidência do sol, a diferença entre as superfícies assumia valores acima de 10 °C, o que demonstra o bom comportamento térmico do compósito em estudo.

A análise dos resultados foi então dividida em quatro períodos de 1h30min cada:

- ⇒ Das 9:00 às 10:30 – Parede LESTE sob incidência máxima de radiação solar;
- ⇒ Das 10:30 às 12:00 – Parede LESTE sai da incidência direta de radiação solar;
- ⇒ Das 12:00 às 13:30 – Parede OESTE entra na incidência direta de radiação solar;
- ⇒ Das 13:30 às 15:00 – Parede OESTE sob incidência máxima de radiação solar.

Percebe-se, desta forma, que para o período de maior radiação, onde a eficiência térmica da parede é imprescindível, o gradiente de temperatura gerado pelo compósito na parede mais exposta ao sol é significativo. Vale lembrar que em todo o período analisado, a parede NORTE esteve sob incidência de radiação solar, embora a radiação solar atingisse a parede com pequeno ângulo em relação ao plano da parede em tela.

Os comportamentos assumidos pelas paredes expostas ao sol em relação à diferença de temperatura entre as faces externa e interna para cada ponto geográfico são apresentados nas Figuras de 37 a 40.

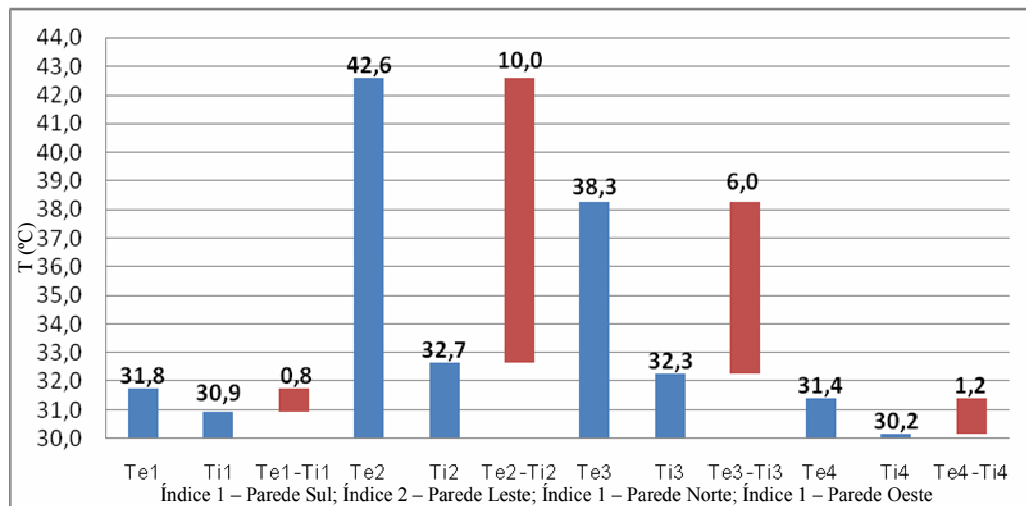


Figura 37. Temperaturas médias observadas em ambas as faces das paredes entre 9:00 e 10:30

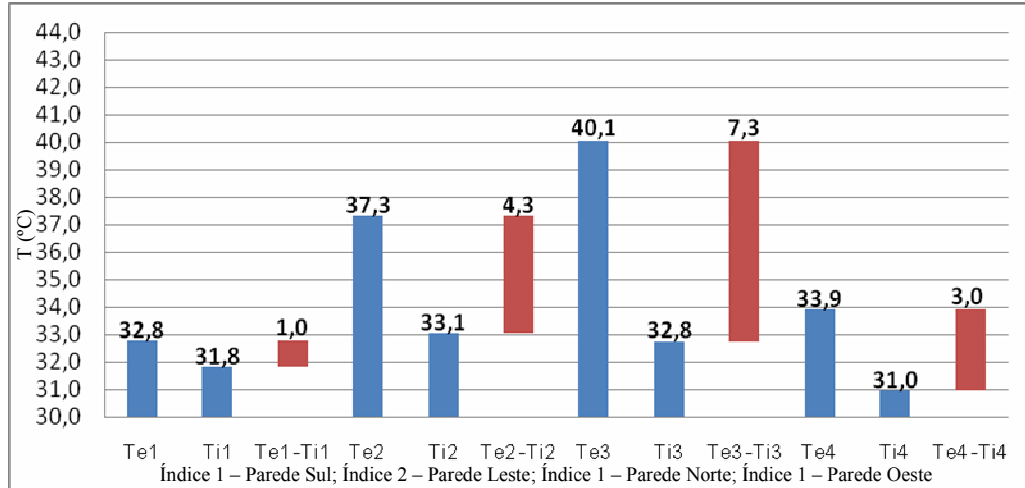


Figura 38. Temperaturas médias observadas em ambas as faces das paredes entre 10:30 e 12:00

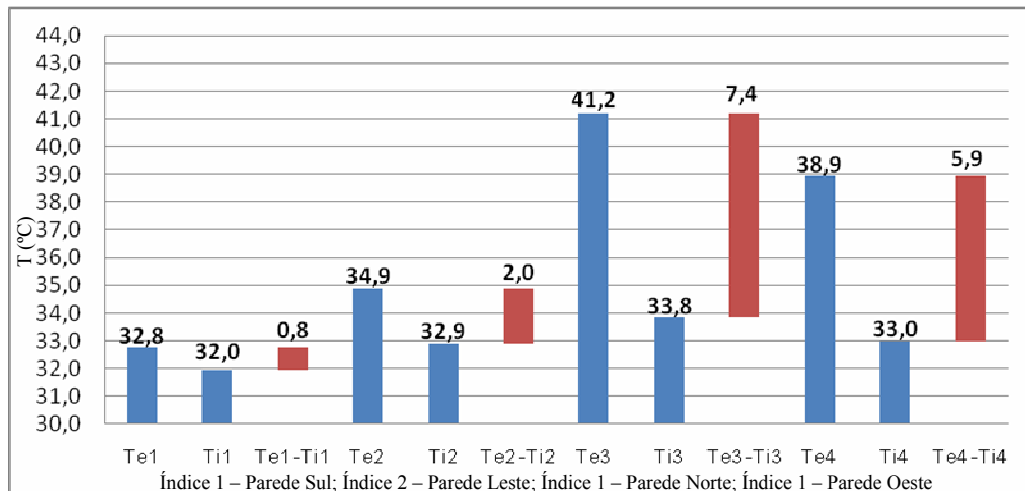


Figura 39. Temperaturas médias observadas em ambas as faces das paredes entre 12:00 e 13:30

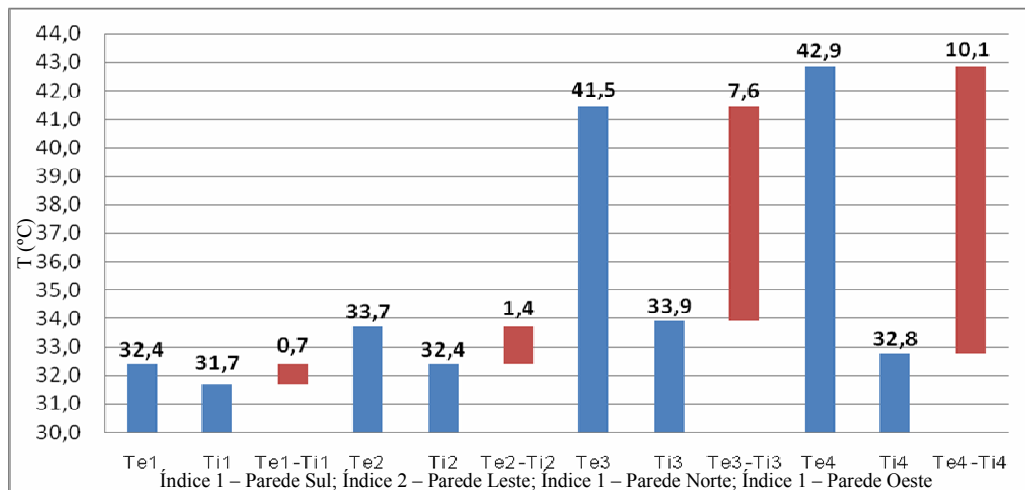


Figura 40. Temperaturas médias observadas em ambas as faces das paredes entre 13:30 e 15:00

Nas Figuras a seguir (41 a 44) são apresentados os gráficos do comportamento térmico das faces interna e de cada uma das paredes estudadas ao longo do intervalo de tempo estudado. Fica evidente que há certa estabilidade tanto nas temperaturas máximas e mínimas apresentadas como também na diferença entre elas quando as paredes estão constantemente sob insolação direta ou constantemente fora dela. O diferencial é que a temperatura da face externa da parede, no caso da insolação constante, é bem maior que a da face interna, enquanto que na situação oposta, esta diferença é pequena.

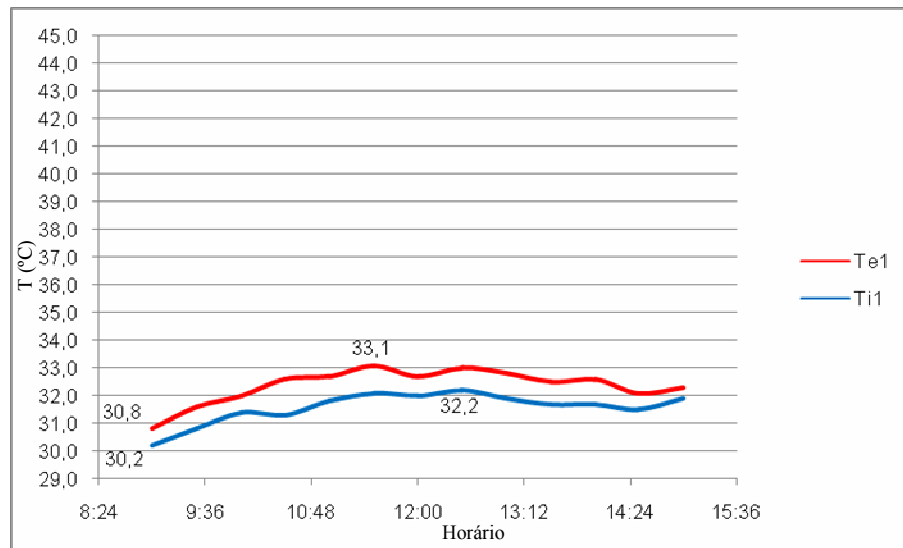


Figura 41. Comportamento das temperaturas externa e interna - Parede Sul.

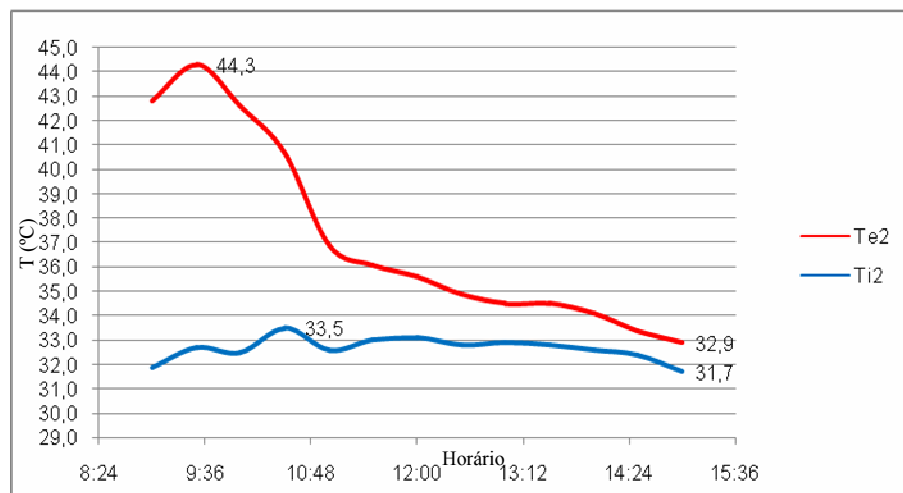


Figura 42. Comportamento das temperaturas externa e interna - Parede Leste.

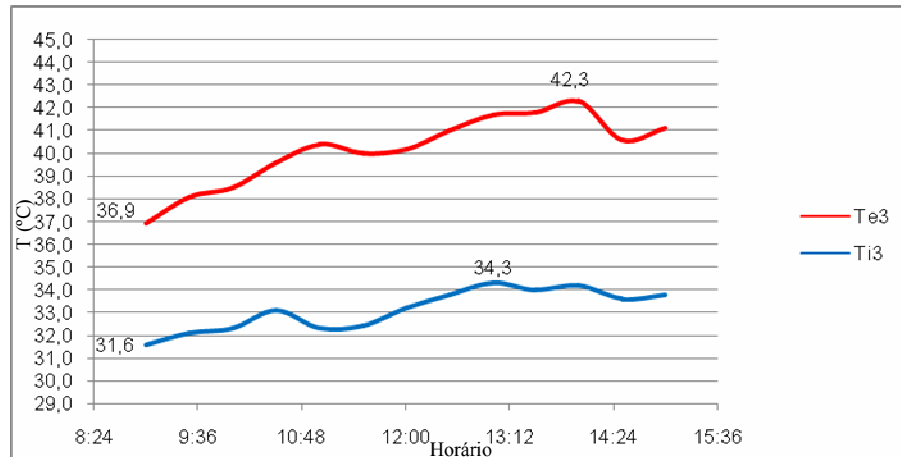


Figura 43. Comportamento das temperaturas externa e interna - Parede Norte.

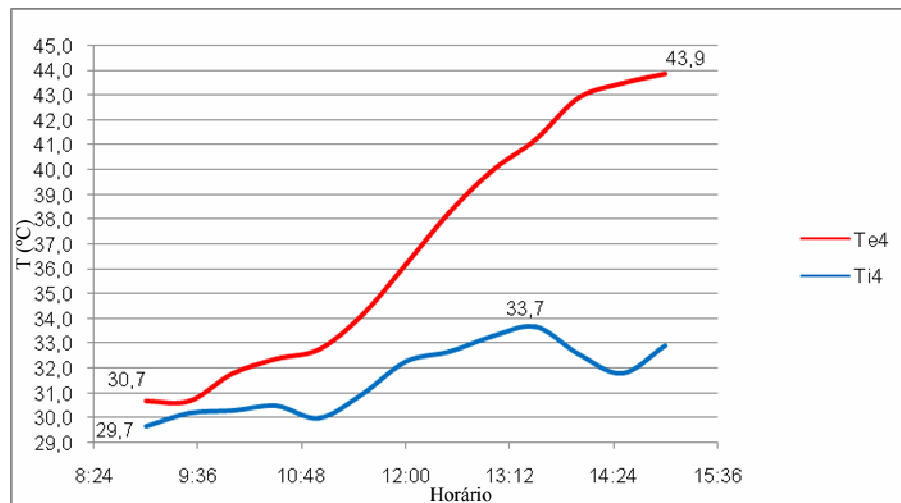


Figura 44. Comportamento das temperaturas externa e interna - Parede Oeste.

4.2.2. Temperatura do ar

A temperatura e a velocidade do ar são fatores muito importantes, pois é este último elemento que entra em interação direta com o ser humano. Pode-se verificar que, a despeito da temperatura medida do lado de fora da casa, bem como da sensação térmica (obtida junto a Central Meteorológica do Núcleo de Tecnologia), as temperaturas médias do ar no interior do cômodo experimental ao longo dos ensaios estão dentro do limite de conforto proposto por Givoni (1992) recomenda para o interior, temperaturas variando de 18 a 29°C, podendo-se admitir até 32°C para velocidade de ar de 2,0 m/s, em ambientes onde não haja trabalhos de escritório, que pode ser visto na figura 42. A zona de conforto utilizada é a mesma que foi usada para a ABNT fazer a classificação bioclimática da cidade de Natal. Nas Figuras 45 e 46 isto é apresentado.

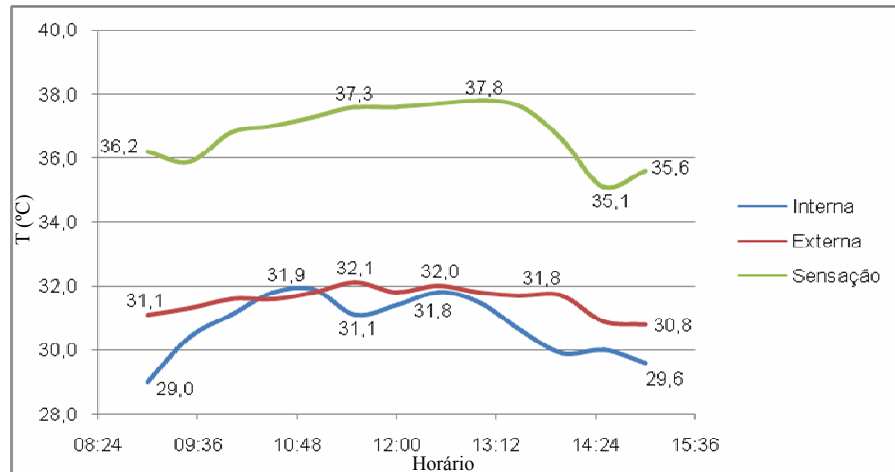


Figura 45. Médias de temperaturas do ar interno, externo e sensação térmica.

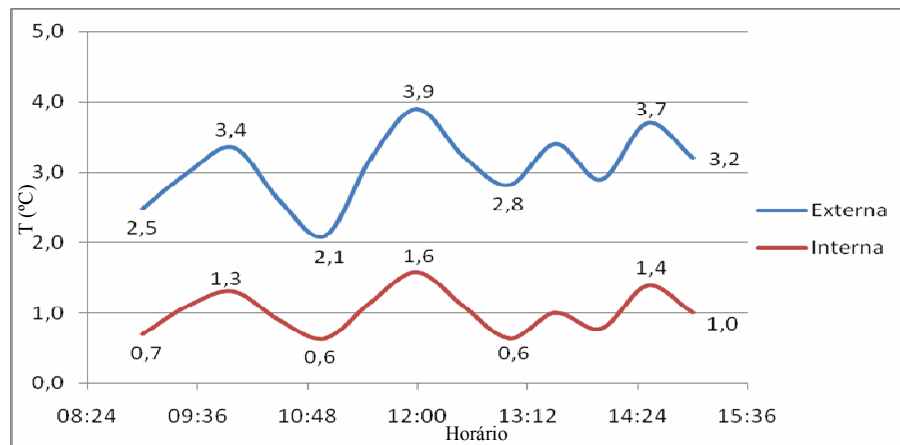


Figura 46. Médias das velocidades do ar externo e interno à casa.

Os valores de velocidade do ar ao nível da construção estiveram em todo o momento acima de 2 m/s, atingindo uma média de 3,3 m/s. Tomando por base os critérios de Givoni (1992), o valor médio obtido encontra-se dentro dos parâmetros estabelecidos.

4.2.3. Umidade relativa do ar

Quanto à Umidade Relativa do Ar, foi percebida uma pequena variação cíclica, apresentando diversos picos e vales entre os valores máximo e mínimo, entre 61% e 66%, valores que estão bem abaixo do limite adotado por Givoni (1992), que é de no máximo 80% para os valores de temperaturas encontrados.

A seguir, no gráfico da Figura 47 são mostrados os resultados das medições de umidade relativa do ar realizadas no mesmo momento em que foram tomadas as temperaturas acima apresentadas.

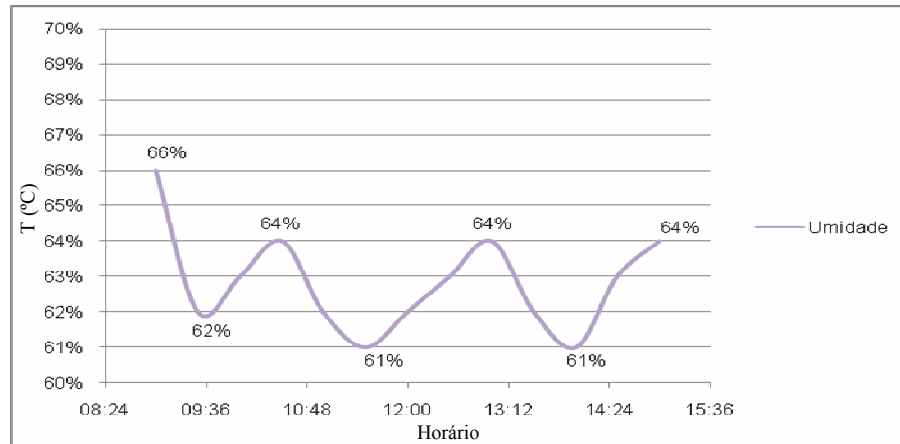


Figura 47. Umidade relativa medida ao longo do horário analisado.

4.3. Análise dos sistemas de construção empregados

O sistema de construção usando blocos exige um aparato tecnológico menor que o sistema in loco, utilizado por Gomes (2010), em outra dissertação de Mestrado do PPGEM sobre tema semelhante. A confecção dos moldes é simples, já que usa apenas madeira e garrafas PET e a mistura pode ser feita em recipientes menores, por trabalhar com quantidades menores que o sistema in loco.

O sistema in loco tem como grande vantagem a rapidez no levantamento das paredes, uma vez que não exige assentamento usando argamassa, porém, seus principais inconvenientes são a exigência de formas de bom acabamento e grandes dimensões, o uso de uma betoneira para misturar os materiais e a necessidade de uma bomba para a colocação do compósito nos moldes. O bloco proposto, além de não apresentar tais inconvenientes, consegue agregar como vantagem para si a não utilização de argamassa no assentamento, devido à existência dos encaixes entre os blocos.

Sendo o tempo de cura do compósito muito baixo, pode-se rapidamente realizar a operação de retirada das formas e obterem-se blocos de bom acabamento, o que elimina a necessidade de reboco.

Devido à construção artesanal do molde, houve certa dificuldade na fixação das garrafas, causando prejuízo ao alinhamento, evento que certamente poderá ser eliminado no momento em que forem confeccionadas formas com centralizadores para as garrafas.

Os últimos blocos já foram confeccionados em um molde de aço que foi feito devido à rápida perecibilidade dos moldes de madeira, pois os mesmos se deterioravam com relativa facilidade em função do contato prolongado com a água utilizada no compósito. Na Figura 48 pode-se observar a molde montado e, na Figura 49, o mesmo molde desmontado.



Figura 48. Molde de aço confeccionado para substituir o de madeira.



Figura 49. Molde de aço desmontado.

Mesmo usando 20% em volume de EPS no composto utilizado, as dimensões do bloco o tornaram muito pesado (16,1 kg em média), dificultando a sua elevação para realização da montagem das fileiras mais altas. A redução das dimensões do bloco poderá solucionar este inconveniente.

4.4. Análise econômica

Os preços abaixo apresentados são os valores médios aproximados encontrados nos depósitos de construção da cidade do Natal em junho do ano em curso, os quais foram utilizados para montagem da tabela acima apresentada:

- Cimento (saco de 50 kg) – R\$ 18,00;
- Areia (uma carrada) – R\$ 140,00;

- Gesso (saco de 40 kg) – R\$ 9,00;
- Cal para traço (saco 15 kg) – R\$ 7,00;
- Raspa de pneu (saco de 50 kg) – R\$ 1,50;
- EPS (descarte) – R\$ 0,00;
- Garrafas PET (descarte) – R\$ 0,00;
- Tijolos cerâmicos (unidade) – R\$ 0,35.

Na Tabela 10 é apresentado o referido comparativo. Levou-se em conta nos custos abaixo apresentados que a parede construída na metodologia tradicional posteriormente precisará ser rebocada. As quantidades apresentadas são aquelas necessárias para o fechamento das paredes do cômodo edificado, já descontados os espaços reservados para as portas e janelas. Foi considerado US\$ 1,00 a R\$ 1,80.

Tabela 10. Valores comparativos: bloco confeccionado com compósito X tijolo cerâmico.

Insumo	Parede construída com blocos		Parede construída com tijolos	
	Quantidade	Valor R\$ (US\$)	Quantidade	Valor R\$ (US\$)
Cimento	17 sacos de 50 kg	306,00 (170,00)	19 sacos de 50 kg	342,00 (190,00)
Areia	0,67 carrada	93,80 (52,11)	0,67 carrada	93,80 (52,11)
Gesso	17 sacos de 40 kg	153,00 (85,00)	---	---
Cal para traço	---	---	19 sacos 15 kg	133,00 (73,89)
Raspa de pneu	14,5 sacos de 50kg	21,75 (12,08)	---	---
EPS	130 latas	0,00	---	---
Garrafas PET	1360	0,00	---	---
Tijolos Cerâmicos	---	---	774 unidades	270,90 (150,50)
	Total →	574,55 (319,19)	Total →	839,70 (466,50)

Para a construção do cômodo nas dimensões propostas, ocorre o fechamento de 31 m² de paredes, já descontados os espaços reservados para a porta e as janelas. Considerando o valor gasto, este corresponde a aproximadamente 18,53 R\$/m², valor inferior ao custo com alvenaria tradicional, em torno de 27,09 R\$/m², ou seja, uma diferença de 8,56 R\$/m² a menor, o equivalente a uma redução de 31,6% no custo. Ressalte-se que o custo de mão de obra é muito maior na técnica convencional. São necessários vinte e cinco tijolos por metro quadrado ao passo que apenas cinco blocos perfazem quase essa mesma área. Ademais após o término da

operação de assentamento dos tijolos tem-se a operação de reboco, que representa um custo adicional em relação à edificação que utiliza os blocos propostos.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base nos resultados dos ensaios efetuados com o compósito em estudo, apresentam-se as conclusões e sugestões desse presente trabalho.

5.1. CONCLUSÕES

1. As proporções ensaiadas apresentaram boa mistura entre seus componentes, produzindo uma massa homogênea, o que garante a confecção de blocos com propriedades homogêneas em toda a sua extensão;
2. Os valores de resistência à compressão para a composição contendo 0,67 parte de cimento ficaram abaixo do limite estabelecido pela NBR 15270-1/2005, demonstrando a inviabilidade de utilização desta proporção para a confecção de blocos a serem utilizados na construção de alvenaria de fechamento;
3. A composição contendo partes iguais em volume de todos os componentes foi escolhida por apresentar resistência mecânica compatível para blocos de vedação, conforme especifica a NBR 15270-3/2005;
4. É importante a presença de raspa de pneu no compósito, uma vez que o compósito apresenta certa porosidade, a qual, em função da concentração de energia que este promove, induz a formação de fissuras. A borracha faz com que a propagação de tensões nos blocos seja contida ou retardada;
5. Fica evidente que há certa estabilidade tanto nas temperaturas máximas e mínimas apresentadas como também na diferença entre elas quando as paredes estão constantemente sob insolação direta, sendo a temperatura da face externa da parede, para este caso, bem maior que a da face interna, demonstrando a eficiência do compósito no desempenho térmico;
6. A habitação construída com o compósito proposto produz um conforto térmico satisfatório, dentro da Zona de Conforto térmico de Givoni (1992) para países em desenvolvimento;

7. O processo tecnológico de fabricação do bloco proposto é simples, podendo ser repassado para comunidades que desejem fabricar unidades habitacionais em regime de mutirão;
8. A montagem das paredes também é um processo simples, uma vez que os blocos encaixam-se uns nos outros facilmente, metodologia também apropriada para o regime de mutirão.
9. O aproveitamento do EPS como matéria prima mostrada nesse trabalho representa um aproveitamento ecologicamente correto evitando seu descarte em lixões;
10. O custo da edificação de uma residência com o material compósito estudado é menor do que o custo dessa mesma edificação, quando utilizados materiais convencionais, tanto em relação aos materiais, como também, em relação ao custo de mão de obra.

5.2. Sugestões

1. Devem ser acrescentados às formas metálicas, pinos centralizadores para as garrafas, a fim de permitir uma melhor centralidade das garrafas PET no interior do molde;
2. Sabendo que o gesso e EPS são ótimos isolantes acústicos, seria interessante fazer um estudo de resistência acústica do material;
3. Estudar outras proporções e também a influência da adição de outros elementos ao compósito estudado.
4. Reduzir a altura dos blocos, reduzindo, desta forma, o peso dos mesmos, a fim de facilitar a montagem das fileiras superiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP (Brasil) (Org.) – ABCP – *Associação Brasileira de Cimento Portland*. Disponível em: www.abcp.org.br. Acesso em 13 jun. 2010.

ABIPET (Brasil) (Org.) – ABIPET - *Associação Brasileira da Indústria do PET*. Disponível em: www.abipet.org.br. Acesso em 14 jun. 2010.

ABNT - *Associação Brasileira de Normas Técnicas* - NBR 15220-1/2005, **Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, Símbolos e Unidades**, Rio de Janeiro-RJ, 2005a.

ABNT - *Associação Brasileira de Normas Técnicas* - NBR 15220-3/2005, **Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social**), Rio de Janeiro-RJ, 2005b.

ABNT - *Associação Brasileira de Normas Técnicas* - NBR 15270-1/2005, **Componentes cerâmicos - Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos**, Rio de Janeiro-RJ, 2005c.

ABNT - *Associação Brasileira de Normas Técnicas* - NBR 15270-3/2005, **Componentes cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio**, Rio de Janeiro-RJ, 2005d.

ABRAPEX, *Associação Brasileira de Poliestireno Expandido*, Disponível em www.abrapex.com.br. Acesso em 17 mai. 2010.

ALLEN, S. M.; THOMAS, E. L., **The structure of materials**, John Wiley & Sons, 1999.

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*. Norma 55/2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.

BARBOSA, M. J., **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UFSC, Florianópolis-SC, 1997.

BARBOSA, M. J., **Aperfeiçoamento e Desenvolvimento de Novos Métodos de Avaliação de Desempenho para Subsidiar a Elaboração e Revisão de Normas Técnicas**, XI Encontro Anual de Iniciação Científica de Maringá-PR, 2002.

BARROSO, A., **Déficit Habitacional – Um Mapeamento por Bairro**. Prefeitura Municipal de Natal. Natal, 2006.

BAUER, L. A. F., **Materiais de Construção 1**, Ed. LTC Ltda, 5ª Ed., 2001.

BEZERRA L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal-RN, 2003.

BODIG J.; JAYNE, B. A., **Mechanics of Wood and Wood Composites**, Krieger Publ. Comp. Malabar, 1993.

CANELLAS, S. S., **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação de Ciência dos Materiais e Metalurgia da PUC-RJ, Rio de Janeiro-RJ, 2005

COSTA, R. N. A., **Viabilidade térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água a baixo custo para fins residenciais**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal-RN, 2007

DUMKE, E. M. S., **Avaliação do desempenho térmico de sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como subsídio para o estudo de tecnologias apropriadas em habitação de Interesse Social**, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba-PR, 2002.

FANGER, P. O., **Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering**. Copenhagen, 1970.

FINEP – *Financiadora de Estudos e Projetos*. Disponível em: www.finep.gov.br. Acesso em 3 jun. 2010.

GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R. D.; BARBOSA, N. P. Behaviour of Composite Soil Reinforced With Natural Fibres. *Cement and Concrete Composites*, England, vol. 21, p.39-48, Elsevier Science Ltd., 1999.

GIVONI, B., **Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines**. Rev. Energy and Buildings: v. 18, n. 1, p. 11-23, Lausanne, 1992.

GOMES, I. R. B., **Viabilidade de um compósito a partir de resíduos para a construção de casa populares**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal-RN, 2010.

GRINGS, E. T. O. Comparação entre resultados computacionais e experimentais do comportamento térmico de um ambiente, Dissertação de Mestrado em Engenharia –UFRGS, Porto Alegre-RS, 2003.

HULL, D., **An Introduction to Composite Materials**, Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK, ed.1, 1981.

INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P., **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, Guanabara Koogan, 4ª edição, Rio de Janeiro-RJ, 2003.

ISO - INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION. ISO 1043-1:2001, **Plastics - Symbols and abbreviated terms - Part 1: Basic polymers and their special characteristics**, Geneva, 2001.

ISO - INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION. ISO 7730, **Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**, Geneva, 1994.

ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco – Projetos de normas. Disponível em www.itep.br/TECNOLOGIA_MAT_CONSTRUCAO_projetos_de_normas.asp. Acesso em 3 jun. 2010.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2000.

JOHN, V. M., CINOTTO, M. A., **Alternativas de gestão dos resíduos de gesso**. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2003.

KRÜGER, G. V., **Avaliação comparativa de desempenho térmico de painéis de vedação para edificações em estruturas metálicas**, In: Anais do 2º Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Fortaleza-CE, 1999.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S., **Technologies for reusing, recycling and energetic valorization of tires in Brazil**; Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, EPUSP, São Paulo-SP, 2008.

LAMBERTS, R., **Desempenho térmico de edificações: definições, símbolos e unidades**. UFSC, Florianópolis-SC, 1996.

LEITE, P. R., **Logística Reversa - Meio Ambiente e Competitividade**, São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LEMO, P. N.; BARBOSA, M. J., **Avaliação comparativa de desempenho térmico entre cinco sistemas construtivos de habitação popular**, Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Fortaleza – Ce, 1999.

LOUREIRO, K. C. G., **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2003.

MACIEL, A. A.; LAMBERTS, R., **Edifício de escritórios em Brasília, uma análise bioclimática**, In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu-PR, 2002.

MANO, E.B., **Polímeros como Materiais de Engenharia**, Edgard Blucher, São Paulo – SP, 1999.

MELO, G. F., **CONCRETO CELULAR POLIMÉRICO, influência da adição de resíduo de poliéster insaturado termofixo**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da UFRN, Natal – RN, 2009.

McMULLEN, P., **Fibre Resin Composites for aircraft primary structures: a short history, 1936-1984**, *Composites*, v. 15, n. 3, 1984.

MEDEIROS K. F., BORJA E. V., SILVA G. G., BEZERRA, M. C. M., **Análise das propriedades físico-mecânicas em blocos de cimento, com isopor, sem função estrutural**. I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica – Natal-RN, 2006.

MENEGUINI, E. C. A., **Comportamento de argamassas com emprego de pó de borracha**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UNICAMP, Campinas-SP, 2003.

MENEZES, M. S., **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo**, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade de Passo Fundo-RS, 2006.

MILITO, J.A., **Avaliação do desempenho de Aglomerante à Base de Gesso com Cimento Portland de alto forno e sílica ativa**. Tese de doutorado. Faculdade Engenharia Civil – UNICAMP, Campinas-SP, 2007.

MOSLEMI, A. A., **Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber**, *Composites, Advanced Performance Materials*, v. 6, p. 161-179, 1999.

NEVILLE, A.M., **Properties of concrete**, Burnt Mill, England: Longman Scientific & Technical, 1997.

NIELSEN, L. E., **Mechanical Properties of Polymers and Composites**, Marcel Dekker, 2^a ed., New York, 1994.

OCHI, T., OKUBO, S., FUKUI, K., **Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforced fiber**, *Cement and Concrete Composites*, v. 29, n. 6, pp. 448-455, 2007.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. 9ª ed. São Paulo-SP, 1993.

PEZZIN, A.P.T., **Reciclagem química de embalagens de PET pós-consumo: Síntese de novos co-polímeros biodegradáveis**, Notas de aula, UNIVILLE, Joinville-SC, Brasil, 2007.

PROVENZANO, T. L., **Desenvolvimento de sistema construtivo em painéis pré-fabricados de argamassa e garrafas plásticas para habitação de interesse social**, Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UFSC, Florianópolis-SC 2006.

REIS C.; FERRÃO P., **PROTAP - Produção, utilização e opções de fim de vida para pneus**, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2000.

RESCHNER, K. (2002) **An overview of commercially available scrap tire processing and rubber recycling methods**. Disponível em: <http://home.snafu.de/kurtr/str/en.html>> Acesso em 6 de setembro de 2009.

REZENDE, M.C.; BOTELHO, E. C., **O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial**, *Polímeros*, São Carlos-SP, v. 10, n. 2, 2000.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; WARDEN, P.G.; COUTTS, R.S.P. **Brazilian waste fibers as reinforcement of cement-based composites**. *Cement and Concrete Composites*, England, v.22, p.379-384, 2000.

SANTOS, N. R. G., **Projeto, construção e análise de desempenho de coletores solares alternativos utilizando garrafas PET**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal-RN, 2008a.

SANTOS, R. D., **Estudo térmico e de materiais de um composto a base de gesso e EPS para construção de casas populares**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal-RN, 2008b.

SCHUCH, L. M. S.; LAMBERTS, R.; DUTRA, M. Analysis 1.5, Disponível em www.labeee.ufsc.br, Acesso em 20 mai. 2010.

SEGRE, N. C., **Reutilização de borracha e pneus usados como adição em pasta de cimento**. Tese de Doutorado, Instituto de Química da UNICAMP, Campinas, 1999.

SHELDON, R.P., **Composite Polymeric Materials**, ed.1, Applied Sci. Pub., England, 1982.

Silveira, J.L., Grote, Z.V., **Análise termodinâmica de um processo de reciclagem de Poliestireno Expandido (Isopor): um estudo de caso**, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP, Guaratinguetá-SP, 2004.

SINDUGESSO (Brasil) (Org.) – SINDUGESSO – *Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco*. Disponível em www.sindugesso.org.br, acesso em 9 de agosto de 2010.

SOUZA, L. G. M; MENDES, J. U. L.; SANTOS, R. D.; LIMA, H. J. ; MELO, A. V.; SANTOS, N. R., **Reservatório térmico alternativo para uso em sistemas solares de aquecimento de água**, In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, 2006a.

SOUZA, L.G.M.; MENDES, J.U.L.; SANTOS, R. D.; MELO, A. V., **Compósito a base de gesso e EPS para fabricação de casas populares**. In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, 2006b.

SOUZA, L.G.M.; MENDES, J.U.L.; SANTOS, R. D. ; MELO, A. V.; JÚNIOR, A. P., **Câmara térmica para conservação do pescado confeccionada em material compósito**, In: 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu – PR, 2006c

SZOKOLAY, S.V., **Bioclimatic Design: Strategy to Details**, Anais do III Encontro Nacional/ I Encontro Latino Americano, Gramado, 1995.

TESSARI, J.; ROCHA, J.C., **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**, 2006

TOLEDO FILHO, R.D.; GHAVAMI, K., SANJUÁN, M. A.; ENGLAND, G.L.; **Free restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibers**. Cement and Concrete Composites, England, v.27, p.537-546, 2005.

TOPÇU, I. B. **The Properties of Rubberrized Concretes**; Cement and Concrete Research, v.24, n.2, p.304-10, 1995.

YOKOHAMA, R., **Tire Industry of Japan**, The Japan Automobile Tyre Manufacturers Association, Tokyo, 2007.

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](#)