



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

**Simone Vezaro**

**SISTEMA CONSTRUTIVO *ISOPET*: estudo das propriedades  
mecânicas e térmicas**

**Palmas - TO  
2016**



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

**Simone Vezaro**

**SISTEMA CONSTRUTIVO *ISOPET*: estudo das propriedades  
mecânicas e térmicas**

Monografia elaborada e apresentada como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC) do curso de Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Especialista Fernando Moreno Suarte Junior.

**Palmas - TO  
2016**



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Simone Vezaro

**SISTEMA CONSTRUTIVO ISOPET: estudo das propriedades  
mecânicas e térmicas**

Monografia elaborada e apresentada como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC) do curso de Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Especialista Fernando Moreno Suarte Junior.

Aprovado em 14/06 de 2016.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior  
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Me. Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira  
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Dr. Ângela Ruriko Sakamoto  
Centro Universitário Luterano de Palmas

Dedico este trabalho à minha mãe Jane  
Clarice Portela.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela força para a conclusão deste trabalho e o conhecimento adquirido através dele, a minha família, pelo apoio dado nos momentos de angústia, aos que me ajudaram na confecção dos blocos e protótipo para o estudo, minha mãe, meu pai, meu irmão, meu namorado, meu colega Darlyel e os funcionários do Laboratório Miller e André.

Agradeço ao meu orientador Fernando Moreno Suarte Junior, pelos ensinamentos, incentivos e confiança, as avaliadoras Maria Carolina D'Oliveira e Ângela Ruriko Sakamoto, pelas informações e ajuda na reta final, e a todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho

*“Sonhar, no final das contas, é uma forma  
de planejar”  
(Gloria Steinem)*

## RESUMO

VEZARO, Simone. **SISTEMA CONSTRUTIVO *ISOPET*: estudo das propriedades mecânicas e térmicas**. 2016. 89f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2016.

O presente trabalho realizou um estudo sobre o sistema construtivo *Isopet*, analisando a resistência mecânica dos blocos *Isopet*, tomando como base o trabalho realizado por Kanning (2008), e aferindo o desempenho térmico do sistema, de acordo com a NBR 15575 (2013), comparando-o com alvenarias estruturais de blocos cerâmicos e de concreto, através do trabalho realizado por Silva (2012), na cidade de Palmas – TO, e efetuou os cálculos de resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica, metodizados pela NBR 15220-2 (2005). Visando a sustentabilidade e a reutilização de materiais recicláveis na construção civil, foram confeccionados os blocos, utilizando EPS como agregado graúdo e, em seu interior, garrafas PET inteiras e vazias. Para verificar a resistência destes, foram realizados ensaios de compressão simples. Foi construído um protótipo para a realização de ensaios térmicos, conferindo as temperaturas ambiente externas e internas, assim como das fachadas. Após levar em consideração todos esses aspectos, pode-se afirmar que o sistema construtivo de blocos *Isopet* possibilita a aplicação em alvenarias de vedação, pois os blocos atingiram a resistência mínima necessária, além de possuírem desempenho térmico superior, de acordo com a NBR 15575 (2013), desempenhando melhor esta função do que as alvenarias convencionais.

**Palavras-chave:** Blocos *Isopet*, EPS, PET, Sustentabilidade, Desempenho Térmico.

## ABSTRACT

VEZARO, Simone. ***ISOPET CONSTRUCTIVE SYSTEM: study of the mechanical and thermal properties***. 2016. 89f. Term Paper (Graduation). Civil Engineering Course. Lutheran University Center Palmas, Palmas/TO/BR, 2016.

This paper conducted a study on the building system *Isopet*, analyzing the strength of the *Isopet* blocks, based on the work done by Kanning (2008), and measuring the thermal performance of the system, according to NBR 15575 (2013), comparing with structural walls of ceramic bricks and concrete, through the work done by Silva (2012), in the city of Palmas - TO, and made the thermal resistance calculations, thermal transmittance and thermal capacity, theorized by NBR 15220-2 (2005). Aiming at sustainability and reuse of recyclable materials in construction, the blocks were made using EPS as aggregate and, inside, whole and empty PET bottles. To check their resistance, compressive tests were performed. A prototype for conducting thermal tests was built, giving internal and external temperatures of the environment as well as the facades. After considering all these aspects, it can be said that the constructive system *Isopet* blocks enables application in masonry sealing because the blocks have reached the required minimum strength, in addition to possessing superior thermal performance, according to NBR 15575 (2013), performing this function better than conventional masonry.

**Keywords:** *Isopet* Blocks, EPS, PET, Sustainability, Thermal Performance.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Resistência à Compressão do EPS .....	19
Figura 2: Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto.....	21
Figura 3: Alvenaria de Vedação - Blocos Cerâmicos .....	22
Figura 4: Concreto Leve: a) com agregado leve; b) celular; c) sem finos. ....	27
Figura 5: Método de avaliação da NBR 15575.....	30
Figura 6: Zona Bioclimática 7 .....	32
Figura 7: Transferência de calor em uma parede.....	34
Figura 8: Fluxo das Etapas Metodológicas .....	37
Figura 9: Pérolas de EPS .....	39
Figura 10: Garrafas PET .....	39
Figura 11: Blocos <i>Isopet</i> .....	40
Figura 12: Planta baixa protótipo.....	43
Figura 13: Paginação dos blocos .....	44
Figura 14: Maquete Protótipo .....	44
Figura 15: Termo-higrômetro digital MOD HT-600.....	45
Figura 16: Termômetro digital infravermelho com mira laser .....	46
Figura 17: Análise granulométrica do agregado miúdo .....	52
Figura 18: Dimensão do EPS.....	53
Figura 19: Consistência do concreto leve .....	54
Figura 20: Corpo de prova sendo submetido à ensaio de compressão .....	55
Figura 21: Resistência a compressão do concreto leve .....	57
Figura 22: Corpo de prova após ensaio de compressão.....	57
Figura 23: Fôrma de metal para fabricação dos blocos .....	58
Figura 24: Fôrma para fabricação dos blocos .....	58
Figura 25: Posicionamento das garrafas PET nos blocos.....	59
Figura 26: Blocos moldados nas fôrmas .....	59
Figura 27: Blocos <i>Isopet</i> .....	60
Figura 28: Assentamento da primeira fiada dos blocos.....	62
Figura 29: Encaixe dos blocos .....	62
Figura 30: Assentamento de verga de concreto pré-moldado.....	63
Figura 31: Encunhamento das paredes .....	63
Figura 32: Protótipo de blocos <i>Isopet</i> (fachadas sul e leste).....	64

<b>Figura 33:</b> Protótipo de blocos Isopet (fachadas Norte e Oeste).....	64
<b>Figura 34:</b> Variações de Temperatura Ambiente.....	65
<b>Figura 35:</b> Variações de Temperatura Ambiente.....	66
<b>Figura 36:</b> Variações de Temperatura Ambiente.....	67
<b>Figura 37:</b> Variações de Temperatura no período matutino nas fachadas Oeste ....	69
<b>Figura 38:</b> Variações de Temperatura no período matutino nas fachadas Leste .....	70
<b>Figura 39:</b> Variações de Temperatura no período vespertino nas fachadas Oeste..	70
<b>Figura 40:</b> Variações de Temperatura no período vespertino nas fachadas Leste ..	71
<b>Figura 41:</b> Bloco <i>Isopet</i> .....	72
<b>Figura 42:</b> Corte Bloco Isopet.....	72
<b>Figura 43:</b> Vista em perspectiva .....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resistência à compressão de blocos para alvenaria de vedação .....	29
Tabela 2: Vida útil de projeto (VUP)* .....	31
Tabela 3: Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas .....	32
Tabela 4: Tipos de vedação externa .....	33
Tabela 5: Estratégias de condicionamento térmico passivo .....	33
Tabela 6: Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão ..	33
Tabela 7: Dosagem do concreto leve .....	41
Tabela 8: Composição dos sistemas construtivos avaliados .....	47
Tabela 9: Propriedades termo físicas dos sistemas avaliados .....	47
Tabela 10: Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas .....	49
Tabela 11: Resistência térmica superficial interna e externa .....	49
Tabela 12: Classificação do agregado miúdo .....	51
Tabela 13: Composição granulométrica do agregado miúdo .....	52
Tabela 14: Composição Granulométrica do agregado de EPS .....	53
Tabela 15: Resistência à compressão dos corpos de prova .....	56
Tabela 16: Resistência à compressão dos blocos <i>Isopet</i> .....	61
Tabela 17: Variações de Temperatura Ambiente .....	65
Tabela 18: Variações de Temperatura Ambiente .....	66
Tabela 19: Variações de Temperatura Ambiente .....	66
Tabela 20: Média da variação de temperatura do período matutino .....	68
Tabela 21: Média da variação de temperatura do período vespertino .....	68
Tabela 22: Diferenças de temperaturas no período matutino em construções de alvenaria estrutural .....	68
Tabela 23: Diferenças de temperaturas no período vespertino em construções de alvenaria estrutural .....	69
Tabela 24: Transmitância térmica e capacidade térmica para algumas paredes .....	77

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Resistência térmica ( $R$ ) .....	47
Equação 2: Resistência térmica de superfície a superfície ( $R_t$ ).....	48
Equação 3: Resistência térmica ambiente a ambiente ( $RT$ ).....	48
Equação 4: Transmitância térmica ( $U$ ) .....	49
Equação 5: Capacidade térmica ( $CT$ ).....	50
Equação 6: Capacidade térmica de componentes com camadas homogêneas e não homogêneas ( $CT$ ).....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPEX	Associação Brasileira do Poliestireno Expandido
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
EPS	Poliestireno Expandido
PET	Poli (Tereftalato de Etileno)
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil
VU	Vida útil
VUP	Vida útil de projeto

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	14
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2. Objetivos Específicos	15
1.2. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO	15
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	16
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b>	17
2.1. SUSTENTABILIDADE	17
2.2. PET – Poli (Tereftalato de Etileno)	18
2.3. EPS (Isopor)	18
2.3.1. Conceito do material	18
2.3.2. Aplicação na construção civil	19
2.4. ALVENARIA	20
2.4.1. Alvenaria Estrutural	20
2.4.2. Alvenaria de Vedação	21
2.5. CONCRETO	22
2.5.1. Agregados	22
2.5.2. Cimento Portland	23
2.5.2.1. Constituintes	24
2.5.2.2. Estruturas cristalinas e Reatividade dos compostos	25
2.5.2.3. Finura	25
2.5.2.4. Tempo de Pega	26
2.5.3. Aditivos	26
2.6. CONCRETO LEVE	26
2.7. RESISTÊNCIA DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO	28
2.8. NBR 15575 (2013) EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO	29
2.9. DESEMPENHO TÉRMICO	31
2.9.1. Transferência de Calor entre o meio ambiente e o ambiente construído	34
<b>3. METODOLOGIA</b>	36
3.1. APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	36
3.2. MATERIAIS	38

3.2.1. Cimento Portland .....	38
3.2.2. Agregado Miúdo .....	38
3.2.3. Agregado de EPS .....	38
3.2.4. Água da mistura .....	39
3.2.5. Garrafas PET .....	39
3.3. FABRICAÇÃO DOS BLOCOS .....	40
3.4. DOSAGEM DO CONCRETO LEVE .....	40
3.5. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	41
3.5.1. Consistência do concreto .....	41
3.5.2. Moldagem dos corpos de prova .....	42
3.6. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	42
3.6.1. Cura do concreto.....	42
3.6.2. Resistência mecânica à compressão simples dos corpos de prova de concreto.....	42
3.6.3. Resistência mecânica à compressão dos blocos Isopet .....	42
3.7. EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO .....	43
3.8. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA .....	45
3.8.1. Desempenho através da NBR 15575.....	45
3.8.2. Cálculos da resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica do sistema construtivo Isopet através da NBR 15220-2.....	46
3.8.2.1. Resistência térmica.....	47
3.8.2.2. Transmitância térmica.....	49
3.8.2.3. Capacidade térmica .....	49
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>51</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	51
4.1.1. Cimento.....	51
4.1.2. Agregado Miúdo .....	51
4.1.3. Agregado artificial (EPS) .....	52
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO LEVE NO ESTADO FRESCO.....	54
4.2.1. Consistência do concreto leve .....	54
4.3. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO LEVE NO ESTADO ENDURECIDO .....	55
4.3.1. Resistência mecânica à compressão dos corpos de prova cilíndricos.....	55
4.4. BLOCOS <i>ISOPET</i> .....	58

4.4.1. Fôrmas .....	58
4.4.2. Fabricação dos blocos .....	59
4.4.3. Resistência mecânica à compressão dos blocos Isopet .....	60
4.5. PROTÓTIPO DE BLOCOS ISOPET .....	61
4.6. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA .....	65
4.6.1. Desempenho através da NBR 15575.....	65
4.6.1.1.Comparação do desempenho térmico do sistema construtivo Isopet com sistemas de alvenaria estrutural de blocos de concreto e blocos cerâmicos, através de bibliografias anteriores. ....	67
4.6.2. Cálculos da resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica do sistema construtivo Isopet através da NBR 15220-2.....	71
4.6.2.1. Resistência térmica.....	74
4.6.2.2. Transmitância térmica.....	75
4.6.2.3. Capacidade térmica .....	75
<b>5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>78</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>86</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil está em constante desenvolvimento e afeta diretamente o meio ambiente de várias formas, desde a extração de matéria-prima, utilização de grande quantidade de insumos, até a elevada geração de entulho de construção e demolição.

Por isso, faz-se fundamental o papel do setor na contribuição para o desenvolvimento sustentável, aplicando em suas construções técnicas como o reuso de resíduos reciclados, emprego de materiais ecológicos, fabricação de novos materiais, entre outros. Além disso, utilizar detritos reciclados nas obras pode ajudar a solucionar os problemas de gerenciamento de resíduos nos aterros sanitários.

Com a entrada em vigor da norma ABNT NBR 15575 (2013), as necessidades dos usuários passaram a ser o foco dos projetos e construções, pois, de acordo com a norma, todos os sistemas que compõem as edificações devem atender a um nível mínimo de desempenho ao longo da vida útil de projeto.

O presente trabalho propõe a utilização de materiais recicláveis na produção de blocos para alvenaria de vedação, com o objetivo de proporcionar melhorias no desempenho térmico das edificações, atendendo aos limites necessários para resistência da alvenaria, assim como promover a construção de obras sustentáveis.

O sistema construtivo *Isopet* apresenta diversas vantagens comparando-o com os sistemas convencionais, pois além de possuir um desempenho térmico melhorado, possui leveza, reduzindo os gastos nas estruturas e fundações, elimina a argamassa de assentamento, diminui a quantidade de camadas de revestimento, e contribui para a sustentabilidade por ser um material ecológico produzido com materiais recicláveis.

### 1.1. OBJETIVOS

#### 1.1.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo das propriedades mecânicas e térmicas da alvenaria do sistema construtivo *Isopet*.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Estudar os componentes do sistema construtivo *Isopet*.
- Verificar a resistência à compressão dos corpos de prova e blocos *Isopet*.
- Elaborar um protótipo de blocos *Isopet*.
- Verificar o desempenho térmico do sistema por meio de medições de temperaturas externas e internas no protótipo de acordo com a NBR 15575 (2013), para Palmas – TO, e, compará-lo com estudo existente.
- Realizar os cálculos de resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica dos blocos *Isopet* de acordo com a NBR 15220-2 (2005).

## 1.2. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

O emprego de materiais recicláveis é uma das maneiras que estão sendo introduzidas nas construções sustentáveis e que ajudam a minimizar os impactos ambientais gerados pelo despejo irregular desses componentes no meio ambiente.

Atualmente, a maioria das cidades conta com o aterro sanitário para destinação final do lixo, porém, as grandes cidades tem seus aterros esgotados, ocasionando descarte inadequado em lixões a céu aberto. Por isso, a coleta seletiva seria uma das formas mais eficazes de se reutilizar os resíduos descartados, levando apenas o lixo doméstico para os aterros, diminuindo a poluição e os impactos gerados na natureza.

A utilização de garrafas PET – Poli (Tereftalato de Etileno) e EPS - Poliestireno Expandido na fabricação de blocos para alvenaria de vedação é uma alternativa viável à destinação destes resíduos, além de possibilitar acessibilidade de construção à população de baixa renda devido ao baixo custo e facilidade de fabricação dos blocos.

Por serem constituídos de materiais leves, os blocos *Isopet* reduzem o peso aplicado à estrutura, diminuindo os custos da fundação, possuem propriedades mecânicas que atendem às solicitações a que são submetidas, além de terem desempenho térmico melhorado devido à adição do EPS em substituição parcial do agregado.

Um fator importante para a utilização dos blocos *Isopet* na cidade de Palmas – TO é o clima quente durante o ano todo. As altas temperaturas e os níveis de

radiação solar ultrapassam as barreiras (paredes, janelas, portas) das edificações, e, durante o dia, transmitem o calor de fora para dentro, porém, à noite, esse calor não consegue ser dissipado tão rapidamente, mesmo com as temperaturas mais amenas. Portanto, utilizar sistemas que melhorem o desempenho térmico das habitações permite que os ambientes internos se beneficiem dos elementos que contribuem para o conforto dos usuários.

O tema abordado é de grande relevância social, ambiental, técnica e econômica, sendo assim, se dá o interesse no estudo do sistema, reduzindo o descarte irregular de materiais que podem ser reciclados na natureza e melhorando o desempenho térmico das edificações.

### 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será dividido em cinco partes, descritas a seguir:

O primeiro capítulo descreve a introdução, destacando a justificativa e importância do trabalho e os objetivos definidos.

O capítulo 2 retrata a revisão bibliográfica acerca dos materiais utilizados no sistema *Isopet*, sustentabilidade, concreto leve, resistência, alvenarias convencionais e desempenho térmico.

O capítulo 3 aborda a metodologia de pesquisa do trabalho, detalhando as etapas de execução e ensaios para atingir os objetivos estabelecidos.

O capítulo 4 detalha os resultados e discussões acerca dos ensaios de caracterização dos materiais, da resistência à compressão dos corpos de prova e blocos *Isopet* e do desempenho térmico do sistema.

No capítulo 5 são expressadas as conclusões acerca do trabalho, mencionando as vantagens e desvantagens do sistema, assim como sugestões para trabalhos futuros.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. SUSTENTABILIDADE

Muito se fala em desenvolvimento sustentável, mas ao nos perguntarmos qual a verdadeira definição para o termo, poucos possuem a resposta. Conforme a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento *apud* AURÉLIO SOBRINHO (2008) “o Desenvolvimento Sustentável segundo o Relatório *Brundtland* é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades”.

A preocupação ambiental ocupa cada vez mais espaço nos problemas dos países, e um dos principais assuntos discutidos na sustentabilidade é o setor construtivo, pois a construção civil gera grandes impactos nas etapas do seu processo (VIEGAS, 2012).

Atualmente, o modelo de construção civil praticado no Brasil, em toda a sua cadeia de produção, ocasiona vários prejuízos ambientais, pois, além de utilizar, amplamente, matéria-prima não renovável da natureza e consumir elevadas quantidades de energia, tanto na extração quanto no transporte e processamento de insumos, é também perdulário no uso dos materiais e considerado grande fonte geradora de resíduos dentro da sociedade (ROTH; GARCIAS, 2009).

De acordo com Barbosa *apud* Viegas (2012), o emprego de materiais de construção não convencionais são ecologicamente corretos, pois estão disponíveis na natureza, sendo alguns renováveis, e, no caso do aproveitamento dos resíduos, contribuem para livrar o ambiente do seu incômodo.

Por isso, faz-se necessário a aplicação de técnicas sustentáveis nas construções, sejam elas feitas pela gestão correta de resíduos de construção civil, emprego de materiais recicláveis ou implantação de soluções para economia de água e energia nas edificações construídas, entre outras, a fim de reduzir a poluição gerada pela área.

Nesse contexto, as empresas construtoras de edifícios podem colaborar de várias maneiras, já que elas interagem com quase todos os elementos da cadeia de construção civil. Por isso, além de minimizar os impactos negativos de suas próprias atividades, elas podem influenciar o compromisso ambiental dos fornecedores de materiais e serviços, inclusive dos projetistas, além de terem

oportunidades de estimular a conscientização dos incorporadores e usuários dos edifícios construídos pela empresa (DEGANI, 2003).

## 2.2. PET – Poli (Tereftalato de Etileno)

Segundo a ABIPET (2015), o PET – Poli (Tereftalato de Etileno) – é um poliéster, polímero termoplástico, o melhor e mais resistente plástico utilizado na fabricação de garrafas e embalagens, que proporciona alta resistência mecânica (impacto) e química, suportando o contato com agentes agressivos, e no pós consumo, a indústria do PET trabalha incessantemente para desenvolver aplicações para o PET reciclado. Porém, as garrafas PET ainda são despejadas em lugares indevidos, que acabam tendo como destinação final os lixões, aterros sanitários e levadas pela água da chuva até os rios.

Diversos experimentos utilizando garrafas PET estão sendo realizados. A Universidade Federal do Pará estuda um tijolo criado à base de cimento e garrafas PET, que se enquadra como blocos de vedação segundo a ABNT, também foram utilizadas as embalagens para construir superfícies refletoras para ambientes enclausurados, além de substituição de blocos convencionais na produção de lajes nervuradas, objeto de estudo proposto pela Universidade Estadual do Vale do Acaraú – CE (GALLI et al., 2012).

## 2.3. EPS (Isopor)

### 2.3.1. Conceito do material

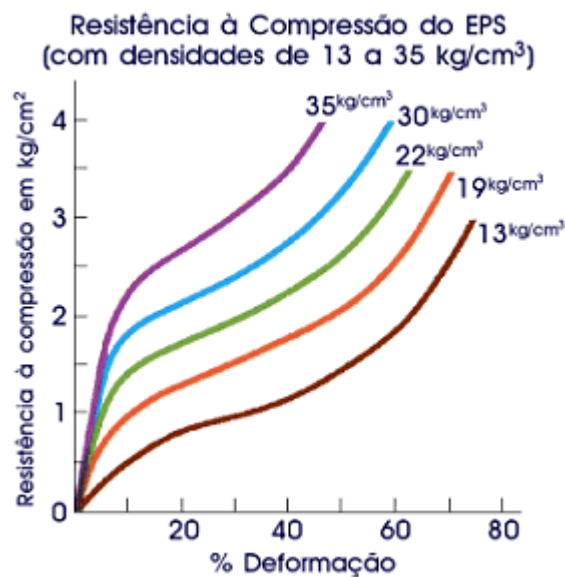
EPS é a sigla internacional de Poliestireno Expandido, é um plástico celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água. Em seu processo expansivo é utilizado o pentano, hidrocarboneto que se deteriora rapidamente, sem comprometer o meio ambiente (ABRAPEX, 2015).

Ainda em conforme com a associação, “os produtos de EPS são inodoros, não contaminam o solo, água e ar, são 100% reaproveitáveis e recicláveis e podem voltar a condição de matéria-prima”. Além disso, o EPS é um material isolante, leve, resistente, de fácil manuseio e baixo custo, por isso, ganhou uma posição estável na construção civil (ABRAPEX, 2015).

### 2.3.2. Aplicação na construção civil

O EPS é um material leve, que possui massa específica entre 13 a 25 kg/m<sup>3</sup>, e tem resistência à compressão de 1 a 2 kg/cm<sup>2</sup>, conforme ilustrado na Figura 1, é inerte, inofensivo ao meio ambiente, reciclável, de fácil manuseio e possui economia no corte, mão-de-obra, equipamentos e tempo de execução (ABRAPEX, 2015).

**Figura 1:** Resistência à Compressão do EPS



Fonte: ABRAPEX (2015).

Uma das características mais importantes do EPS é a capacidade de resistência à transmissão de calor. Isto se deve à sua estrutura celular, que é constituída por milhões de células fechadas com diâmetros milimétricos e com paredes de 1mm. Esta espuma é composta por volta de 3% de poliestireno e 97% de ar. O fator determinante para a boa capacidade de isolamento térmico é o de conservar, constantemente, uma grande quantia de ar dentro de suas células (TECNOCELL, 2015).

Dentre as várias aplicações do EPS na construção civil, a ABRAPEX (2015) cita as seguintes:

- Enchimento de lajes e formas para concreto;
- Lajes industrializadas;
- Isolamento térmico de lajes industrializadas;
- Isolamento térmico de telhados;
- Isolamento térmico de dutos de ar condicionado;
- Isolamento térmico de tubulações e reservatórios;
- Isolamento térmico de câmaras frigoríficas;
- Concreto leve;

- Painéis auto portantes;
- Forros isolantes e decorativos;
- Isolamento acústico – Piso flutuante;
- Painéis divisórios;
- Drenagem;
- Juntas de dilatação;
- Fundação para estradas;
- Lajes nervuradas em edifícios;
- Resistência ao fogo.

Devido à vasta utilização, as empresas estão investindo na área, pois a substituição dos produtos tradicionais pelo EPS acarreta um melhoramento do desempenho energético do prédio, sua estabilidade e segurança, e naturalmente, seu comportamento ambiental (TERMOEPS, 2015).

## 2.4. ALVENARIA

Segundo Yazigi (2000), alvenaria é um “conjunto de paredes, muros e obras similares, composto de pedras naturais e/ou blocos ou tijolos artificiais, ligados ou não por argamassa”. As alvenarias devem possuir resistência e durabilidade, e podem ser classificadas em estrutural e de vedação.

### 2.4.1. Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural é utilizada como estrutura de suporte dos edifícios e é dimensionada, projetada e executada a partir de cálculos racionais (SABBATINI, 2002).

Segundo Azeredo (1997), a alvenaria estrutural deve atender aos seguintes critérios:

- a) Ser isolante térmico;
- b) Ser isolante acústico;
- c) Deve resistir a impactos;
- d) Não deve ser combustível;
- e) Ser resistente;

Para Viegas (2012), “a redução de custo e o menor prazo de execução são as principais vantagens imediatas quanto ao uso da alvenaria estrutural, fatores que são muito bem-vindos em um mercado imobiliário que está cada vez mais competitivo”. Como desvantagem, o sistema limita o projeto arquitetônico e não

permite construções modernas ou inovadoras, e também impossibilita outro uso senão aquele destinado à edificação na concepção do projeto.

Conforme a Figura 2, podemos observar a modulação dos blocos de alvenaria estrutural, que se assemelha ao sistema dos blocos *Isopet* tratados nesse trabalho, porém, os blocos *Isopet* possuem encaixe macho-fêmea para facilitar seu posicionamento e reduzir o uso da argamassa de assentamento.

**Figura 2:** Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto



Fonte: FÓRUM DA CONSTRUÇÃO (2015).

#### 2.4.2. Alvenaria de Vedação

A alvenaria de vedação é aquela responsável por compartimentar espaços, preenchendo os vãos das estruturas, e devem suportar seu peso próprio e outras cargas de solicitação, como armários, redes de dormir e outros (THOMAZ et al., 2009). Além disso a alvenaria de vedação serve como barreira para intempéries físicas, como a chuva, vento, raios solares e outros, por isso, ela deve ser estanque, resistente, durável e ser isolante térmica e acústica.

Na Figura 3, é observado o sistema construtivo da alvenaria de vedação de blocos cerâmicos preenchendo os vãos de uma estrutura em concreto armado convencional.



**Figura 3:** Alvenaria de Vedação - Blocos Cerâmicos



Fonte: PEDREIRÃO (2015).

## 2.5. CONCRETO

### 2.5.1. Agregados

Bauer (2015) define o agregado como “o material particulado, incoesivo, de atividade praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos”. Alguns autores classificam o agregado como um material inerte, que serve apenas como enchimento, porém essa classificação é questionável, pois os agregados possuem papéis importantes nas propriedades do concreto, devido às suas características.

As características mais importantes na tecnologia do concreto são a porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Ainda de acordo com os autores citados acima, são definidas as características dos agregados, conforme descrito abaixo:

- Massa específica e massa unitária: a massa específica é a massa do material por unidade de volume, incluindo os poros internos das partículas, e a massa unitária é a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume.

- Absorção e umidade superficial: a absorção é definida como a quantidade de água necessária para trazer um agregado da condição seca para a condição saturada superfície seca, que acontece quando os poros dos agregados estão preenchidos e não há filme de água na superfície. Já a umidade superficial é a quantidade de água em excesso além da requerida para a condição SSS (saturada superfície seca).
- Resistência à compressão, Resistência à abrasão e Módulo de Elasticidade: são propriedades que estão inter-relacionadas, e são muito influenciadas pela porosidade.
- Durabilidade: O agregado pode ser instável quando ocorrerem mudanças no seu volume, induzidas pelo intemperismo, como ciclos alternados de umedecimento e secagem, ou congelamento e descongelamento, resultando na deterioração do concreto.
- Dimensão máxima e composição granulométrica: dentre as razões para especificar os limites granulométricos e da dimensão máxima dos agregados, a mais importante é a sua influência na trabalhabilidade e custo, pois agregados que não possuem grande deficiência ou possuem granulometria contínua, produzem as misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas.
- Forma e textura superficial: influenciam mais as propriedades do concreto no estado fresco do que endurecido. Comparado as partículas lisas e arredondadas às partículas de textura áspera, angulosas e alongadas, estas precisam de mais pasta de cimento para produzir misturas trabalháveis e, portanto, aumentam o custo do concreto.
- Substâncias deletérias: estão presentes tanto no agregado miúdo quanto no gráudo, porém em mínimas quantidades, são capazes de prejudicar a trabalhabilidade, a pega e endurecimento e as características de durabilidade do concreto.

#### 2.5.2. Cimento Portland

Cimento Portland é um aglomerante hidráulico capaz de endurecer em contato com a água obtido pela pulverização de clínquer, constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio

natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego (BAUER, 2015).

#### 2.5.2.1. Constituintes

De acordo com Bauer (2015),

Cal, sílica, alumina e óxido de ferro são os componentes essenciais do cimento Portland e constituem, geralmente, 95 a 96% do total na análise de óxidos. A magnésia, que parece permanecer livre durante todo o processo de calcinação, está usualmente presente na proporção de 2 a 3%, limitada, pelas especificações, a um máximo permissível de 5%. No Brasil, esse limite é um pouco superior (6,4%). Os óxidos menores compõem em proporção inferior a 1%, excepcionalmente 2%.

Considerando que as propriedades do Cimento Portland estão relacionadas ao teor dos componentes, é prática comum, na indústria do cimento, calcular o teor dos compostos do cimento Portland a partir da análise dos óxidos usando o Método de Bogue, que fornece uma maneira simples de determinar a composição de um cimento Portland a partir de sua análise química (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Conforme Bauer (2015), a importância dessas proporções está na relação com as propriedades finais do cimento e também do concreto, as combinações químicas conduzem à formação dos seguintes compostos:

- Silicato tricálcico (C3S): é o maior responsável pela resistência em todas as idades, especialmente até o fim do primeiro mês de cura, possui o segundo maior calor de hidratação e rapidez de pega dentre todos.
- Silicato bicálcico (C2S): adquire maior importância no processo de endurecimento em idades mais avançadas, sendo largamente responsável pelo ganho de resistência a um ano ou mais, possui baixo calor de hidratação e tempo de pega retardado.
- Aluminato tricálcico (C3A): contribui para a resistência especialmente no primeiro dia, possui o maior calor de hidratação, principalmente no início do período de cura, e quando presente em forma cristalina, é o responsável pela maior rapidez de pega.
- Ferro aluminato de cálcio (C4AF): em nada contribui para a resistência e possui baixo calor de hidratação e tempo de pega retardado.

### 2.5.2.2. Estruturas cristalinas e Reatividade dos compostos

A composição química dos compostos presentes nos cimentos Portland industriais não é exatamente a que é expressa pelas fórmulas comumente utilizadas citadas anteriormente, porque nas altas temperaturas que prevalecem durante a formação do clínquer, os elementos presentes no sistema, inclusive impurezas como magnésio, potássio, sódio e enxofre, possuem a capacidade de entrar em soluções sólidas com cada um dos principais compostos do clínquer. Em grandes quantidades, podem alterar significativamente a natureza cristalográfica e a reatividade de um composto com a água (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Conforme os autores, “além de fatores como o tamanho da partícula e a temperatura de hidratação, a reatividade dos compostos de cimento Portland com a água é influenciada por suas estruturas cristalinas”.

### 2.5.2.3. Finura

A finura do cimento é o fator que governa a velocidade da reação de hidratação do mesmo e possui influência comprovada em muitas qualidades da pasta, das argamassas e dos concretos. O aumento da finura melhora a resistência, diminui a exsudação e outros tipos de segregação e aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão dos concretos (BAUER, 2015).

A finura é determinada como resíduo em peneiras padrão como a malha #200 (75 $\mu$ m) e a malha #375 (5 $\mu$ m). Considera-se geralmente que as partículas de cimento maiores que 45 $\mu$ m são difíceis de hidratar e aquelas maiores do que 75 $\mu$ m nunca se hidratam completamente (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

De acordo com Bauer (2015), a exsudação, um dos fenômenos influenciados pela finura do cimento, consiste na separação espontânea da água da mistura, que naturalmente aflora, conduzindo a uma heterogeneidade indesejável que pode afetar a estabilidade mecânica dos concretos e argamassas, antes do início da pega. Já a trabalhabilidade é definida como o estado que oferece maior ou menor facilidade nas operações de manuseio com as argamassas e concretos frescos.

#### 2.5.2.4. Tempo de Pega

Conforme Bauer (2015),

O fenômeno da pega do cimento compreende a evolução das propriedades mecânicas da pasta no início do processo de endurecimento, propriedades essencialmente físicas, conseqüente, entretanto, a um processo químico de hidratação. É um fenômeno artificialmente definido como o momento em que a pasta adquire certa consistência que a torna imprópria a um trabalho. Tal conceituação se estende, evidentemente, tanto à argamassa quanto aos concretos nos quais a pasta de cimento está presente e com missão aglutinadora dos agregados.

O começo da solidificação é chamado início de pega, pois marca o ponto no tempo em que a pasta se torna não trabalhável e o tempo necessário para solidificar completamente marca o tempo de fim de pega, o qual não deverá ser tão longo a fim de se retomar a atividade construtiva dentro de um tempo razoável após o lançamento do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

#### 2.5.3. Aditivos

Aditivos são materiais não indispensáveis à composição e finalidade do concreto, que pode ser adicionado à betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto, em quantidades normalmente pequenas e bem homogeneizado, faz com que apareçam ou reforcem certas características do concreto (BAUER, 2015).

O Comitê ACI 212 apud MEHTA e MONTEIRO (1994)

Lista 20 finalidades importantes para as quais os aditivos são empregados, por exemplo, para aumentar a plasticidade do concreto sem aumentar o teor de água, reduzir a exsudação e a segregação, retardar ou acelerar o tempo de pega, acelerar a velocidade de desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, retardar a taxa de evolução de calor, e aumentar a durabilidade em condições específicas de exposição.

### 2.6. CONCRETO LEVE

“Os concretos leves caracterizam-se pela redução da massa específica em relação aos concretos convencionais, consequência da substituição de parte dos materiais sólidos por ar” (ROSSIGNOLO, 2009).

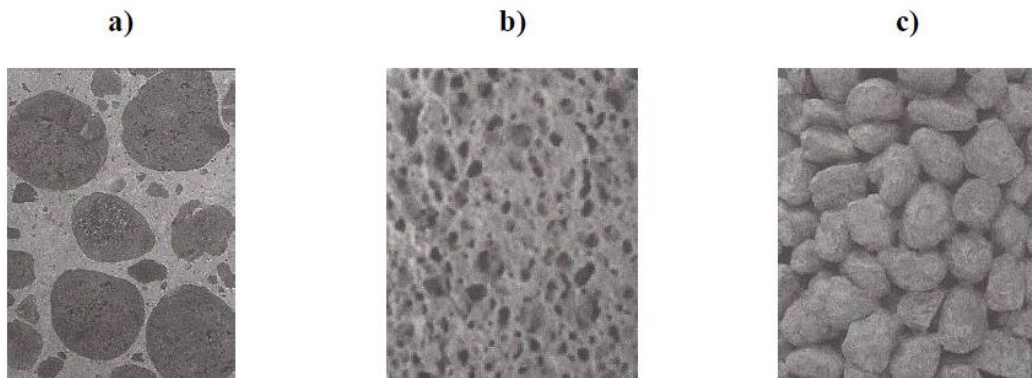
Segundo Maycá *et al. apud* Angelin (2014), os concretos leves podem ser classificados, vide Figura 4, em:

*Concreto com agregado leve*: com substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves. São os únicos concretos produzidos que podem atingir resistências aceitáveis para fins estruturais.

*Concreto celular ou aerado*: resulta da ação de produtos acrescentados à pasta do concreto que reagem produzindo bolhas de ar. Embora aceita e usual, esta técnica é questionada por muitos autores, já que o material resultante encontra-se na pasta e não propriamente no concreto.

*Concreto sem finos*: produzido apenas com aglomerante e agregado graúdo, sua resistência está diretamente relacionada à resistência do agregado e ao consumo de cimento. Este concreto pode produzir materiais como painéis divisórios, estrutura de drenagem e sub-base de quadras de esporte.

**Figura 4:** Concreto Leve: a) com agregado leve; b) celular; c) sem finos.



Fonte: ANGELIN (2014).

De acordo com MEHTA e MONTEIRO (1994), as propriedades do concreto fresco feito com agregado leve e do concreto normal e os fatores que as afetam são praticamente os mesmos, porém a trabalhabilidade dos concretos leves necessitam de atenção especial porque em misturas com alta fluidez, o agregado tende a segregar e flutuar na superfície.

A resistência à compressão e a massa específica são as propriedades mais empregadas na caracterização dos concretos leves estruturais, por estarem diretamente relacionadas com o tipo e a granulometria do agregado leve utilizado. Essa granulometria tem mais influência na massa específica e na resistência mecânica dos concretos leves do que nos concretos convencionais, já que a massa específica e a resistência mecânica da

maioria dos tipos de agregados leves são inversamente proporcionais à sua dimensão (ROSIGNOLO e AGNESINI *apud* CATOIA, 2012).

Holm e Bremner *apud* Catoia (2012) afirmam que “O ar aprisionado na estrutura celular dos agregados leves reduz a absorção e a transferência de calor nos concretos produzidos com eles, em relação aos concretos com agregados convencionais”. Além de apresentar melhor desempenho térmico, os concretos leves geralmente apresentam melhor desempenho de manutenção da resistência mecânica em elevadas temperaturas do que os concretos convencionais, devido à menor condutividade térmica.

O Concreto Leve com EPS (CLE) é composto basicamente pelos mesmos compostos do Concreto Leve, porém é o Poliestireno Expandido (EPS) que substitui o agregado gráudo e parte do miúdo. A baixa massa específica do CLE é conseguida com o emprego do EPS em tamanhos controlados, de acordo com a aplicação do concreto. O EPS atua como agregado no processo de mistura do concreto e como incorporador de ar, homogeneamente distribuído, na resistência do material (CATOIA, 2012).

## 2.7. RESISTÊNCIA DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO

Segundo Kanning (2008), “a geometria, os materiais constituintes e a resistência mecânica dos blocos possuem caráter fundamental nos aspectos característicos de uma alvenaria”.

As alvenarias de vedação estão sujeitas, ocasionalmente, à ação de carregamentos provenientes de recalques, flexão de lajes e vigas, dilatações térmicas, entre outros. Por esse motivo, elas devem possuir resistência mecânica compatível com as solicitações que possam atuar nas edificações (THOMAZ et al., 2009).

A norma NBR 15270-1 (2005) estabelece os limites mínimos de resistência à compressão dos blocos cerâmicos de vedação, calculada na área bruta, de acordo com a tabela abaixo:

**Tabela 1:** Resistência à compressão de blocos para alvenaria de vedação

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

Fonte: NBR 15270-1 (2005) (Adaptado pela autora).

## 2.8. NBR 15575 (2013) EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO

A degradação prematura das edificações e dos seus componentes manifestada pelo decréscimo de desempenho, é um problema atual e frequente. Este problema está inevitavelmente interligado a várias causas, entre elas, o envelhecimento natural desencadeado pela baixa qualidade dos materiais empregues, problemas em projeto e em execução e ainda, falta de manutenção. As referidas causas afetam a estética, a segurança, a utilização, a estabilidade e durabilidade das edificações (GOMES, 2015).

Em face ao problema descrito, as normas de desempenho são determinadas visando o atendimento aos requisitos dos usuários, e, no caso da referida norma, referem-se a todos os sistemas que compõem as edificações habitacionais, independentemente dos materiais constituintes e dos sistemas construtivos aplicados. Por sua vez, as Normas de Desempenho traduzem os requisitos dos usuários em requisitos e critérios, no entanto, estas são complementares às Normas prescritivas, sem substituí-las. Por isso, deve-se utilizar as normas simultaneamente, atendendo aos requisitos dos usuários com soluções técnicas adequadas. (NBR 15575-1, 2013).

O conjunto normativo se divide em seis partes:

Parte 1: Requisitos Gerais

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais

Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários



Cada parte da norma foi organizada por elementos da construção, com uma sequência de exigências relativas à segurança, habitabilidade e sustentabilidade (CBIC, 2013).

Quanto ao método de avaliação da norma, são determinados, para os diferentes sistemas critérios, requisitos e métodos de avaliação, todos focados nas exigências dos usuários, conforme pode ser observado na figura abaixo (MATTOS, 2013).

**Figura 5:** Método de avaliação da NBR 15575



Fonte: PRADO FILHO (2015) (Adaptado pela autora).

A classificação dos métodos de desempenho é subdividida em três categorias: nível M (mínimo), nível I (intermediário) e nível S (superior), sendo que, para cada um desses níveis, a edificação passará a ter vida útil e prazos de garantia diferentes (KAPPAUN, 2012).

Um grande destaque da norma é o fato de ela estabelecer as incumbências técnicas de cada um dos intervenientes. Esta delega responsabilidades aos fornecedores, projetistas, construtores e incorporadores, e também, aos usuários (MATTOS, 2013).

Outro destaque é a necessidade do estabelecimento da vida útil de projeto para cada um dos sistemas que compõem um edifício, responsabilidade dos projetistas, construtores e incorporadores, que deve ser elaborado para que os

sistemas tenham uma durabilidade potencial compatível com os valores teóricos preestabelecidos pela Norma que podem ser observados na tabela abaixo (NBR 15575-1, 2013).

**Tabela 2:** Vida útil de projeto (VUP)\*

<b>Sistema</b>	<b>VUP mínima em anos</b>
Estrutura	≥ 50 Conforme ABNT NBR 8681
Pisos Internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

\* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

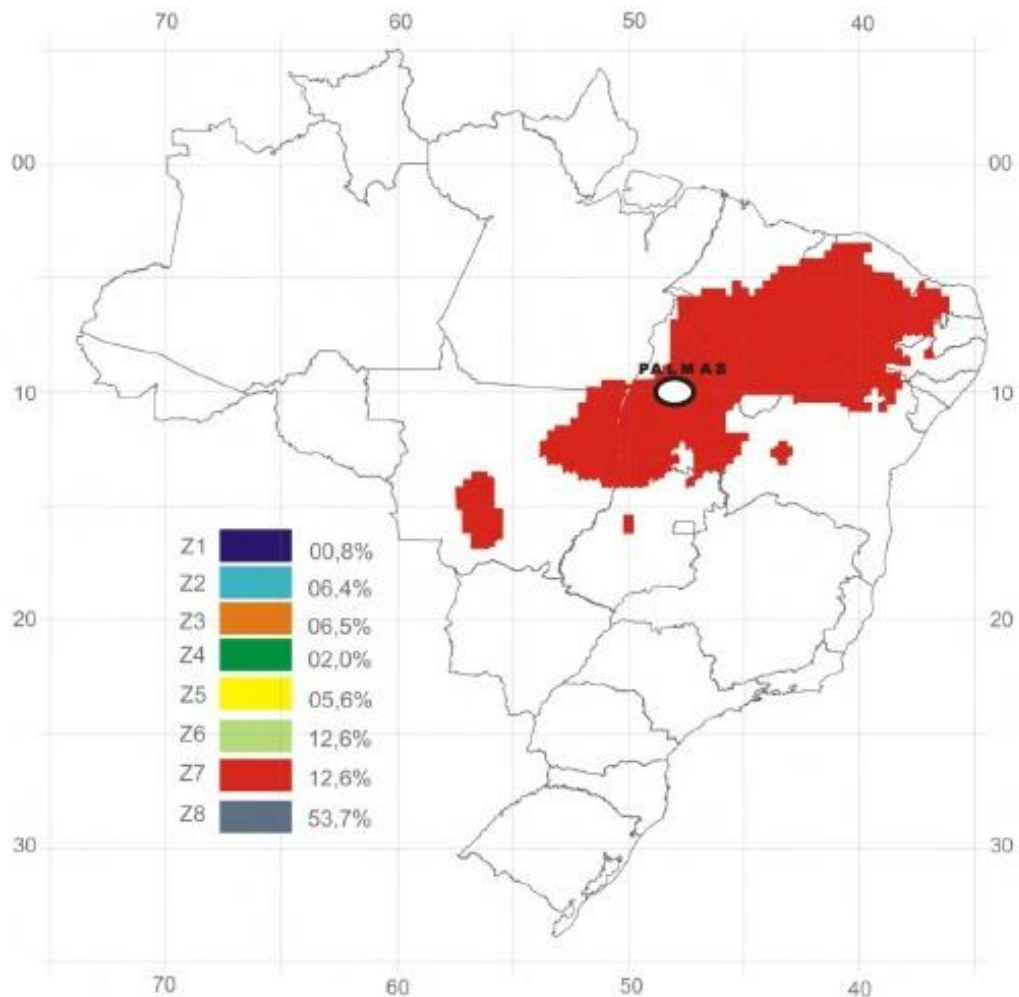
Fonte: NBR 15575-1 (2013).

O valor final atingido de vida útil (VU), será uma composição do valor da vida útil de projeto (VUP) influenciado pelas ações de manutenção, intempéries e outros fatores internos e externos fora de seu controle, positivamente ou negativamente. Se não houver histórico de necessidade de intervenções significativas nas edificações, decorridos 50% dos prazos da VUP descritos na tabela anterior, é considerado atendido o requisito de vida útil de projeto, salvo prova objetiva ao contrário (NBR 15575-1, 2013).

## 2.9. DESEMPENHO TÉRMICO

‘O desempenho térmico é um dos requisitos qualitativos de desempenho, sendo os critérios de avaliação os valores máximos de temperatura interna no verão e os valores mínimos de temperatura no inverno’ (KAPPAUN, 2012).

De acordo com a NBR 15575-1 (2013), a edificação habitacional deve possuir características que atendam aos requisitos de desempenho considerando-se a zona bioclimática definida pela NBR 15220-3 (2005). O Estado do Tocantins possui duas zonas bioclimáticas, a cidade de Palmas se encontra na zona bioclimática 7, de acordo com a figura abaixo.

**Figura 6:** Zona Bioclimática 7

Fonte: Dias (2009).

Em cada zona bioclimática brasileira, existem diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento térmico passivo, considerando como parâmetros e condições de contorno o tamanho das aberturas para ventilação, as proteções das aberturas, as vedações externas, entre outros (NBR 15220-3, 2005). As diretrizes construtivas para a zona bioclimática 7, na qual a cidade de Palmas está situada, encontram-se nas Tabelas 3, 4 e 5.

**Tabela 3:** Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Pequenas	Sombrear aberturas

Fonte: NBR 15220-3 (2005).

**Tabela 4:** Tipos de vedação externa

Vedações Externas
Parede: Pesada
Cobertura: Pesada
Fonte: NBR 15220-3 (2005).

**Tabela 5:** Estratégias de condicionamento térmico passivo

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior a externa)
NOTA Os códigos H e J são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o zoneamento bioclimático do Brasil (ver anexo B).	
Fonte: NBR 15220-3 (2005).	

A NBR 15575-1 (2013) estabelece critérios para avaliação do desempenho térmico de uma edificação para os diferentes níveis (mínimo, intermediário e superior) tendo em vista que o valor máximo da temperatura do ar no interior de ambientes de permanência prolongada, sem a presença de fontes internas de calor deve ser menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar no exterior, e, para maior conforto dos usuários, recomenda que esteja de acordo com os níveis intermediário e superior, conforme tabela abaixo.

**Tabela 6:** Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1 \text{ }^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4 \text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ }^{\circ}\text{C})$

$T_{i,máx.}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.

$T_{e,máx.}$  é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

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

Fonte: NBR 15575-1 (2013).

Para as condições de inverno, a zonas bioclimática 7 é isenta de critério de avaliação de desempenho térmico.

### 2.9.1. Transferência de Calor entre o meio ambiente e o ambiente construído

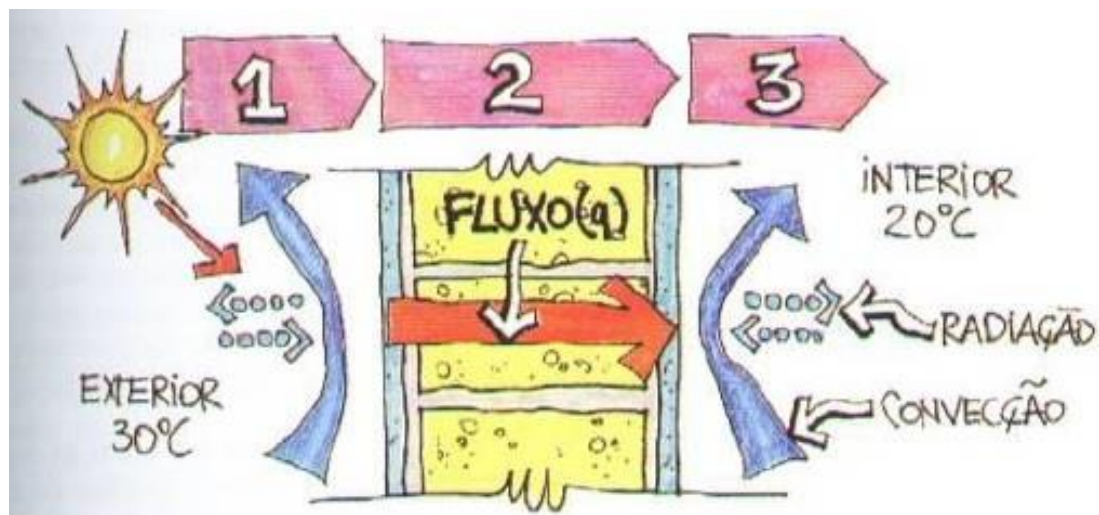
De acordo com Viegas (2012),

Uma edificação absorve energia térmica do meio externo através dos mecanismos de radiação (forma de transmissão de calor que não necessita de um meio e propagação, pois a energia é transmitida na forma de ondas eletromagnéticas) e convecção (a propagação do calor se dá através do movimento do fluido envolvendo transporte de matéria).

A temperatura da face externa das paredes aumenta em relação à temperatura inicial, e, pelo fato da temperatura da face interna ser menor, ocorrerá um fluxo de calor por condução na direção da última. A intensidade do fluxo depende de vários fatores, como a espessura da parede, da capacidade calorífica dos materiais, da condutividade térmica e da densidade. Como consequência da elevação da temperatura, haverá um fluxo de calor da face interna da parede para o ambiente interno, através dos mecanismos de convecção e radiação citados anteriormente (BEZERRA, 2003).

A figura 7 apresenta um esquema de troca de calor em uma parede que separa um meio externo, sujeito à radiação solar, de um meio interno.

**Figura 7:** Transferência de calor em uma parede



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

Devido ao aquecimento global e a incessante busca pela melhoria da eficiência energética, o estudo de alternativas para melhorar o desempenho térmico das edificações está ganhando grande espaço no setor da construção civil. Para

isso, é necessário analisar os materiais que compõem a envoltória dos edifícios, e a utilização de resíduos como insumos na fabricação de elementos construtivos apresenta vantagens muito significativas dos pontos de vista técnico, econômico e ambiental (VIEGAS, 2012).

### 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa classifica-se como de natureza quali-quantitativa. Os procedimentos metodológicos adotados foram pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Quanto à realização da pesquisa bibliográfica, foi feita com o auxílio de livros, teses de doutorado, dissertações de mestrado, monografias de especializações, artigos técnicos, reportagens em meio digital e quaisquer outros meios disponíveis.

#### 3.1. APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo deste trabalho é o Sistema Construtivo *Isopet*, que são alvenarias de blocos elaborados com garrafas PET e enchimento de concreto leve com adição de EPS.

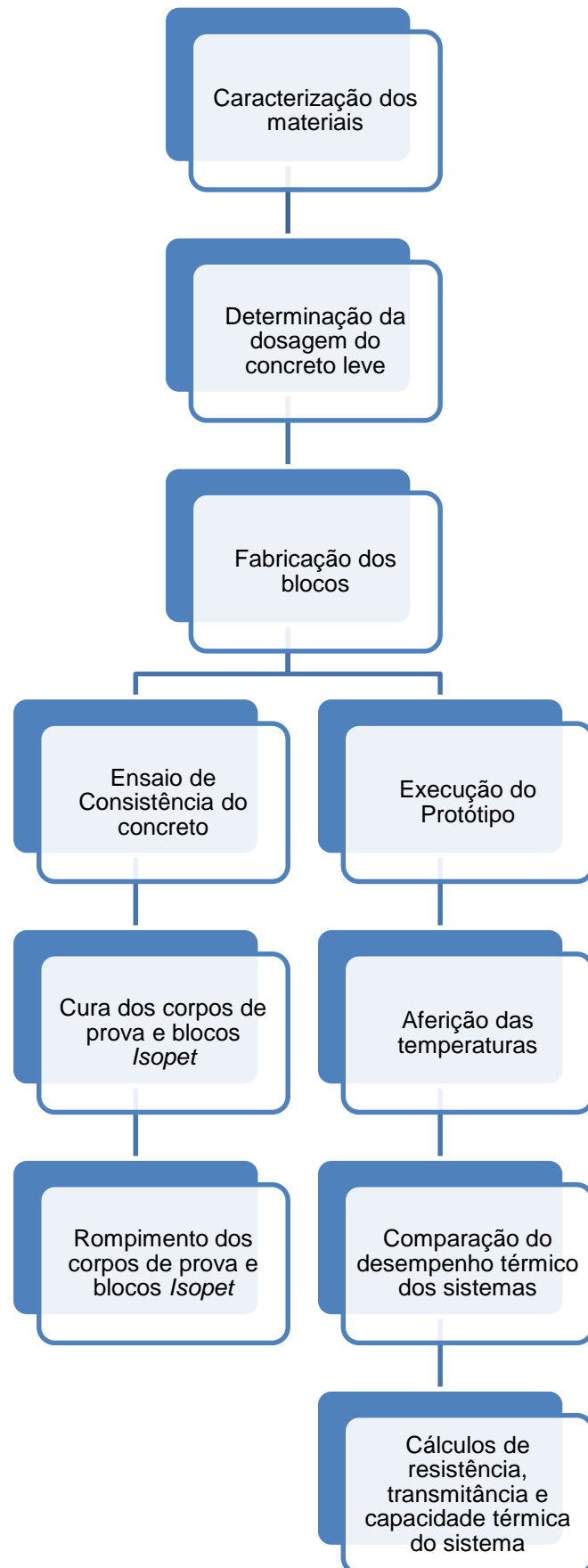
O estudo foi realizado com colaboração do acadêmico Darlyel de Sousa Almeida, do curso de Engenharia Civil, e foram utilizadas informações do presente trabalho acerca da modulação dos blocos, custos, entre outros, para elaboração da pesquisa do autor.

A caracterização dos componentes do sistema ocorreu através de ensaios físicos normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova e blocos foram feitos de acordo com os requisitos das normas NBR 5739 (2007) e NBR 15270 (2005). Os ensaios térmicos foram realizados de acordo com a norma NBR 15575 (2013).

A produção, construção de protótipo, caracterizado no item 3.7 da presente metodologia, realização de ensaios, entre outros, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

A metodologia utilizada segue o fluxograma de procedimentos ilustrado abaixo.

**Figura 8: Fluxo das Etapas Metodológicas**



Fonte: Autora (2016).



## 3.2. MATERIAIS

Os materiais utilizados neste trabalho foram os que se seguem:

### 3.2.1. Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CP IV – 32 em acordo com a NBR 5736 (1991) Versão Corrigida (1999) – Cimento Portland Pozolânico. Optou-se por esse tipo de cimento devido à maior durabilidade que ele proporciona.

### 3.2.2. Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado na produção de blocos Isopet e na argamassa de assentamento foi areia lavada do tipo fina, proveniente dos rios da região de Palmas – TO. Este agregado foi caracterizado de acordo com a norma NBR 7211 (2009) e os ensaios realizados foram os de granulometria, massa específica, massa unitária e módulo de finura.

### 3.2.3. Agregado de EPS

Foram empregadas pérolas de EPS, conforme mostra a Figura 9, na fabricação do concreto leve para enchimento dos blocos de Isopet com adição de aglutinante a base de emulsão acrílica para auxiliar na aderência entre a pasta e o agregado devido à tendência do EPS ir para a superfície, prejudicando a homogeneização da mistura. Este agregado também foi caracterizado de acordo com a norma NBR 7211 (2009) e foi realizado apenas o ensaio de granulometria, devido às condições do laboratório.

**Figura 9:** Pérolas de EPS



Fonte: STYROEME (2015).

#### 3.2.4. Água da mistura

A água utilizada na fabricação do concreto leve é proveniente de poço artesiano, coletada no Laboratório de Materiais de Construção do CEULP/ULBRA, porém o presente trabalho não analisou a qualidade da água.

#### 3.2.5. Garrafas PET

As garrafas PET utilizadas foram de 2,0 litros do mesmo tipo, conforme ilustra a Figura 10. As garrafas foram lavadas e guardadas com tampa e sem os rótulos.

**Figura 10:** Garrafas PET



Fonte: Autora (2016).

### 3.3. FABRICAÇÃO DOS BLOCOS

A confecção dos blocos *Isopet* foi baseada no trabalho realizado por Kanning (2008). Os blocos foram projetados para possuírem encaixes laterais em forma de macho-fêmea. Foram confeccionados com dimensões de 40x40x14cm (bloco grande) e 40x20x14cm (bloco pequeno) como mostra a Figura 11.

**Figura 11:** Blocos *Isopet*



Fonte: Kanning (2008).

Primeiramente, foram construídas fôrmas de metal para moldagem dos blocos, pois possuem alto índice de reaproveitamento.

Os blocos foram confeccionados em concreto leve com EPS utilizando garrafas plásticas inteiras e vazias, devidamente tampadas posicionadas no interior do bloco na vertical nos blocos grandes ou na horizontal nos blocos pequenos. Possuem encaixes macho-fêmea, gerando o intertravamento, dispensando o uso de argamassa nas uniões, exceto na primeira fiada.

### 3.4. DOSAGEM DO CONCRETO LEVE

A dosagem do concreto leve foi feita de acordo com recomendação do fabricante Isoféres (2015) conforme a Tabela 7.

**Tabela 7:** Dosagem do concreto leve  
**COMPOSIÇÃO DA MISTURA PARA 1m<sup>3</sup> DE CONCRETO LEVE DE EPS (ISOPOR)**

<b>DENSIDADE NOMINAL kg/m<sup>3</sup></b>	<b>EPS litros</b>	<b>CIMENTO kilos</b>	<b>AREIA kilos</b>	<b>AREIA litros</b>	<b>ÁGUA litros</b>	<b>ADESIVO kilos</b>
700	1.093	390	165	118	155	1,1
800	1.015	390	260	186	165	1,0
900	942	400	340	243	175	0,9
1.000	873	400	435	311	180	-
1.100	809	400	535	382	180	-
1.200	742	390	652	466	178	-
1.300	678	390	752	537	178	-
1.400	615	385	858	613	177	-
1.500	553	380	965	689	175	-
1.600	487	375	1.070	764	175	-

Fonte: ISOFÉRES (2015). (Adaptado pela autora)

O traço utilizado na fabricação do concreto leve foi de 1 : 0,67 : 2,60 : 0,42 (cimento : agregado miúdo natural : agregado de EPS em litros : água em litros), proposto para atingir a densidade nominal de 800kg/m<sup>3</sup>, pois o concreto leve utilizado em alvenarias possui geralmente entre 500 a 800kg/m<sup>3</sup>, assim como, quanto menor o peso específico, menor a trabalhabilidade do concreto.

No processo de mistura, inicialmente foi dissolvido o adesivo em água. Em seguida, foi colocado o EPS na betoneira em movimento, o adesivo dissolvido então foi adicionado, e, após essa mistura, foi adicionado um pouco de cimento. Quando o cimento começou a fixar-se no EPS, foi colocado alternadamente o restante do cimento, água e areia. O tempo de agitação da mistura foi suficiente para a massa obter a “pega” ideal para ser lançada nas fôrmas.

### 3.5. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

#### 3.5.1. Consistência do concreto

Foi avaliada a consistência do concreto leve de acordo com o ensaio de abatimento do tronco de cone obedecendo aos requisitos da norma NBR NM 67 (1998).

### 3.5.2. Moldagem dos corpos de prova

No dia 23 de fevereiro de 2016, foram moldados 8 (oito) corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10x20cm de acordo com a norma NBR 5738 (2015) e foram adensados em duas camadas com 12 golpes verticais cada uma por meio de uma haste de socamento de 16mm.

## 3.6. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

### 3.6.1. Cura do concreto

Os blocos *Isopet* foram desmoldados após um período inicial de 24 horas, em seguida, para obtenção da cura, foram molhados 2 vezes ao dia, durante 14 dias. Os corpos de prova foram imersos no tanque de cura, retirados nas datas de rompimento e conservados ao ar até o momento do ensaio de compressão axial.

### 3.6.2. Resistência mecânica à compressão simples dos corpos de prova de concreto

A análise da resistência à compressão foi efetuada no Laboratório de Materiais de Construção do CEULP/ULBRA nos 8 (oito) corpos de prova cilíndricos, nas idades de 7 (sete), 14 (quatorze), 21 (vinte e um) e 28 (vinte e oito) dias, rompendo 2 (dois) corpos de prova em cada idade, obedecendo a norma NBR 5739 (2007), utilizando a máquina universal EMIC, com célula de carga de capacidade de 30tf.

### 3.6.3. Resistência mecânica à compressão dos blocos Isopet

A análise da resistência à compressão foi efetuada no Laboratório de Materiais de Construção do CEULP/ULBRA em 2 (dois) blocos *Isopet* de 40x40x14cm e em 2 (dois) blocos de 40x20x14cm, com idade de 28 (vinte e oito) dias, obedecendo a norma NBR 15270-3 (2005), utilizando a máquina universal EMIC.

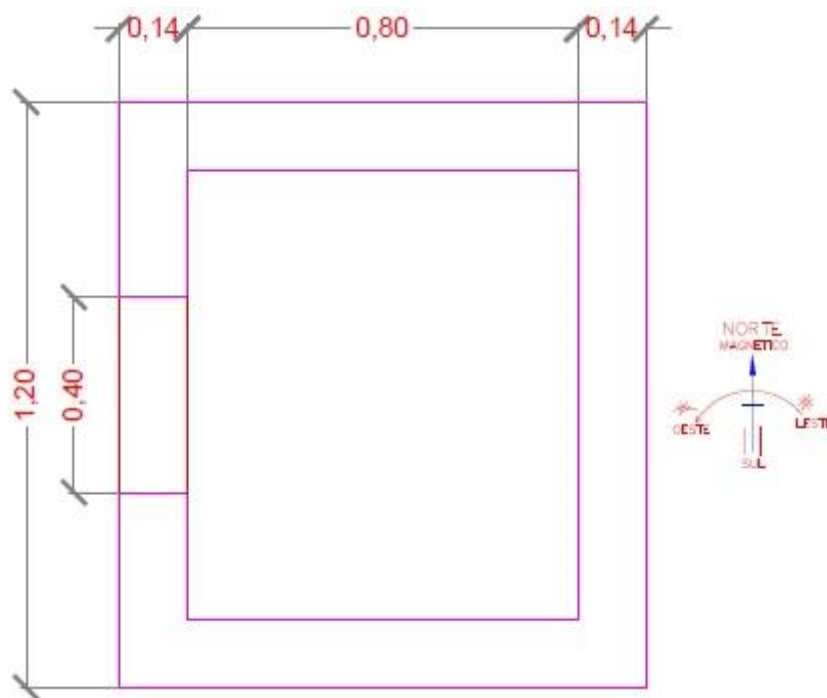
### 3.7. EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO

Foi elaborado um protótipo de blocos *Isopet*, com cobertura de telhas de fibrocimento, verga de concreto pré-moldado de 10x10cmcm. O protótipo teve abertura de janela voltada para o oeste seguindo recomendações da NBR 15575-1 (2013).

No protótipo foram realizados os ensaios para verificação do desempenho térmico do sistema.

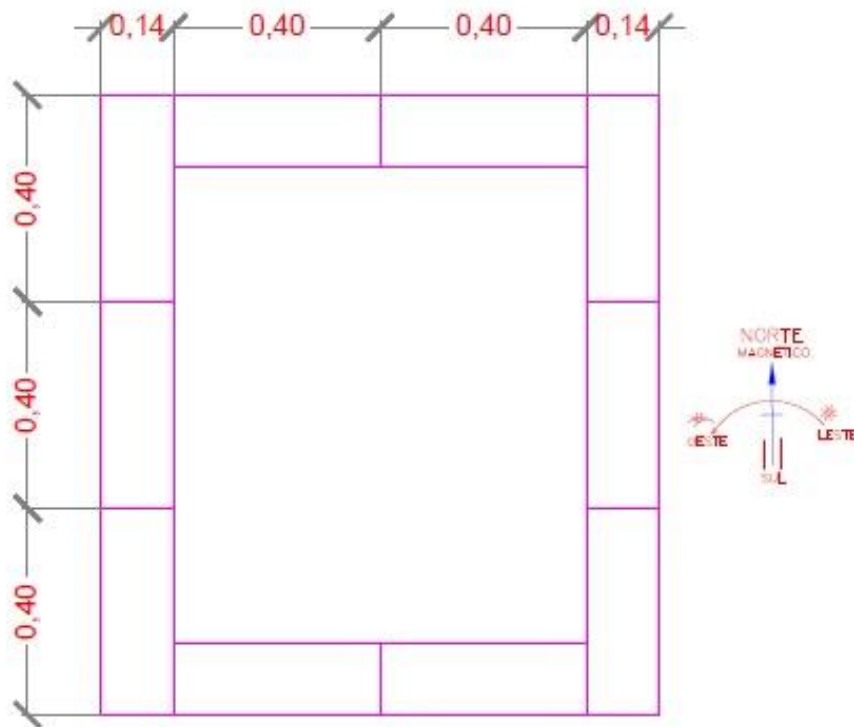
O protótipo foi executado no Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), de acordo com o seguinte projeto:

**Figura 12:** Planta baixa protótipo



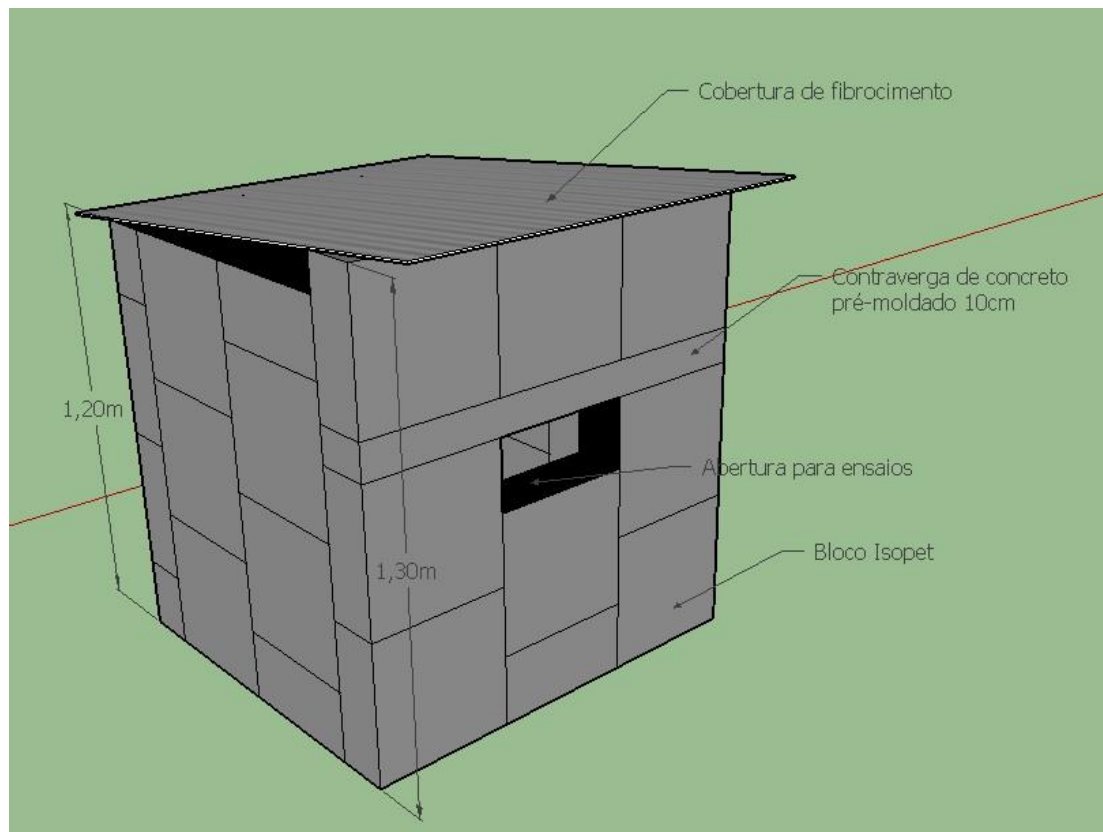
Fonte: Autora (2015).

**Figura 13: Paginação dos blocos**



Fonte: Autora (2015).

**Figura 14: Maquete Protótipo**



Fonte: Autora (2015).

### 3.8. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA

#### 3.8.1. Desempenho através da NBR 15575

O levantamento de dados de temperatura interna e externa foi realizado *in loco*, e o dia tomado para análise correspondeu a um dia típico de verão na cidade de Palmas – TO, precedido de pelo menos um dia com características semelhantes. Como regra geral, a norma NBR 15575-1 (2013) recomenda trabalhar com uma sequência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Porém, para melhores resultados, foram realizados ensaios térmicos durante três dias, às 9h, 12h, 15h, 18h e 21h.

Foi utilizado um termo-higrômetro digital modelo HT-600, da marca Instrutherm, conforme ilustrado na Figura 15, que foi cedido pelo curso de Arquitetura e Urbanismo do CEULP/ULBRA, para medições das temperaturas internas e externas.

**Figura 15:** Termo-higrômetro digital MOD HT-600



Fonte: BRASIL HOBBY (2015).

Para medição das temperaturas internas e externas das paredes, foi utilizado um termômetro digital infravermelho com mira laser, conforme Figura 16, para verificar o calor por irradiação do sistema.



**Figura 16:** Termômetro digital infravermelho com mira laser



Fonte: MERCADO LIVRE (2015).

### 3.8.2. Cálculos da resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica do sistema construtivo *Isopet* através da NBR 15220-2

A NBR 15220-2 (2008) apresenta os métodos de cálculo da capacidade térmica, transmitância térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Para a verificação destes cálculos, são necessárias as propriedades térmicas dos materiais, que são apresentadas na Norma. No entanto, o sistema estudado neste trabalho é inovador e, por isso, não estão listadas nas tabelas as propriedades dos materiais utilizados no sistema *Isopet*.

Por isso, foi feita uma avaliação estatística de dados, através do trabalho de Bezerra (2003), para descobrir os coeficientes de condutividade térmica e calor específico do sistema.

O autor elaborou 3 (três) traços para análise, ilustrados na Tabela 8, e, para a avaliação estatística deste trabalho, foram utilizados os dados do BCL (bloco de concreto leve) 10\_6, devido sua composição ser mais parecida com a composição do concreto leve dos blocos *Isopet*.

**Tabela 8:** Composição dos sistemas construtivos avaliados

Sistema Construtivo	Cimento	EPS	Brita	Areia	Água
BP	1saco (50 Kg)	–	60 ℓ	60 ℓ	30 ℓ
BCL 6_10	1saco (50 Kg)	60 ℓ	–	100 ℓ	30 ℓ
BCL 10_6	1saco (50 Kg)	100 ℓ	–	60 ℓ	30 ℓ

Fonte: BEZERRA (2003).

A partir das propriedades térmicas observadas na Tabela 9, foi feita a avaliação estatística dos dados, para descobrir, aproximadamente, o coeficiente de condutividade térmica e o calor específico do concreto leve elaborado neste trabalho para os blocos Isopet, e seus resultados se encontram em 4.6.2.

**Tabela 9:** Propriedades termo físicas dos sistemas avaliados

Blocos	Densidade (kg/m³)	Calor Específico (x106 J/m³K)	Condutividade Térmica (W/mK)
BP	1983,4	1,938	1,054
BCL6_10	1438,4	1,827	0,878
BCL10_6	1064,6	1,685	0,445

Fonte: BEZERRA (2003).

Feito isso, os cálculos descritos abaixo puderam ser executados.

### 3.8.2.1. Resistência térmica

A resistência térmica (R) de um material corresponde à dificuldade de transmissão de calor e é determinada pela expressão abaixo:

#### **Equação 1:** Resistência térmica (R)

$$R = e/\lambda$$

Onde:

$e$ : espessura do bloco;

$\lambda$ : coeficiente de condutividade térmica do material.

A resistência térmica total de um componente é determinada pelas expressões 2 e 3. A expressão 2 determina a resistência térmica de superfície a superfície e a expressão 3 de ambiente a ambiente.

**Equação 2:** Resistência térmica de superfície a superfície ( $R_t$ )

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

Onde:

$R_a, R_b, \dots, R_n$  são as resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção, determinadas pela expressão 1;

$A_a, A_b, \dots, A_n$  são as áreas de cada seção.

**Equação 3:** Resistência térmica ambiente a ambiente ( $R_T$ )

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

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela expressão 2;

$R_{se}$  e  $R_{si}$  são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da tabela 9.

Em elementos que possuem câmaras de ar não ventiladas, como é o caso do sistema construtivo Isopet, é necessária a determinação da resistência térmica do ar, que, no caso, é encontrada na Tabela 10. Já a Tabela 11 apresenta as resistências térmicas de superfície de acordo com a direção do fluxo de calor.

**Tabela 10:** Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica $R_{ar}$ $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Fonte: NBR 15220-2 (2005).

**Tabela 11:** Resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si} (m^2.K/W)$			$R_{se} (m^2.K/W)$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220-2 (2005).

### 3.8.2.2. Transmitância térmica

A transmitância térmica de componentes, de ambiente a ambiente é o inverso da resistência térmica total, conforme a expressão 4.

#### Equação 4: Transmitância térmica (U)

$$U = 1/R_T$$

### 3.8.2.3. Capacidade térmica

A capacidade térmica determina o calor necessário para produzir variação térmica em um sistema, e pode ser determinada pela expressão 5.

**Equação 5:** Capacidade térmica ( $C_T$ )

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

Onde:

$\lambda_i$  é a condutividade térmica do material da camada  $i^a$ ;

$R_i$  é a resistência térmica da camada  $i^a$ ;

$e_i$  é a espessura da camada  $i^a$ ;

$c_i$  é o calor específico do material da camada  $i^a$ ,

$\rho_i$  é a densidade de massa aparente do material da camada  $i^a$ .

A capacidade térmica de um componente constituído de camadas homogêneas e não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela expressão 6.

**Equação 6:** Capacidade térmica de componentes com camadas homogêneas e não homogêneas ( $C_T$ )

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{T_a}} + \frac{A_b}{C_{T_b}} + \dots + \frac{A_n}{C_{T_n}}}$$

Onde:

$C_{T_a}, C_{T_b}, \dots, C_{T_n}$  são as capacidades do componente para cada seção, determinadas pela expressão 5;

$A_a, A_b, \dots, A_n$  são as áreas de cada seção.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 4.1.1. Cimento

O cimento utilizado é do tipo CP IV – 32, da marca Nassau, atendendo às exigências das Normas vigentes.

#### 4.1.2. Agregado Miúdo

O agregado miúdo é caracterizado de acordo com a norma NBR 7211 (2009) e seus resultados encontram-se na Tabela 12.

**Tabela 12:** Classificação do agregado miúdo

Ensaio	Norma	Resultados
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 52/2009	2,66
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 45/2006	1,60
Dimensão Máxima Característica (mm)	NBR NM 248/2003	4,8
Módulo de Finura	NBR NM 248/2003	2,28

Fonte: Autora (2016).

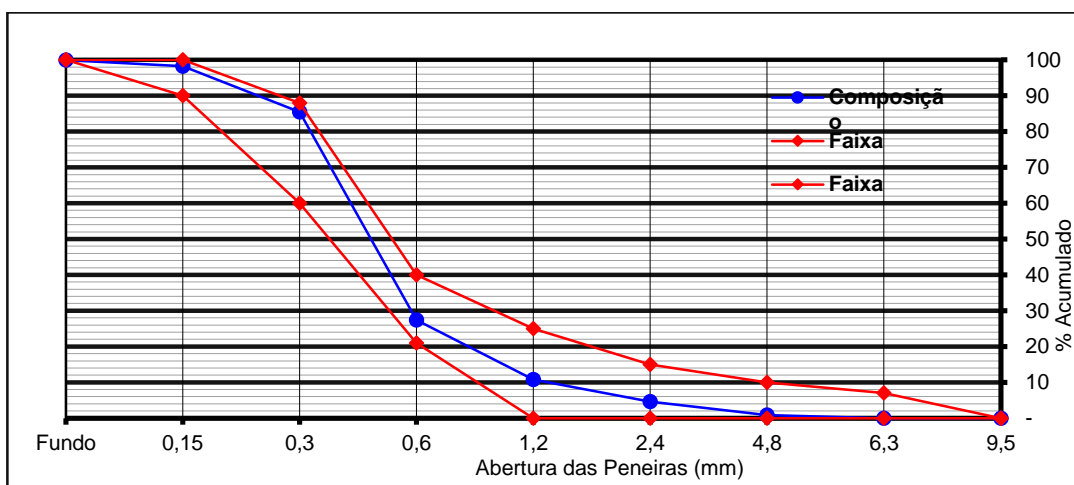
Observando a composição granulométrica, encontrada na Tabela 13, e o gráfico ilustrado na Figura 17, o agregado miúdo caracteriza-se como areia fina, conforme estabelece a norma NBR NM 248 (2003), pois está situado dentro da faixa granulométrica 2, que indica o tipo do agregado.

**Tabela 13:** Composição granulométrica do agregado miúdo

Peneira	1ª Determinação			2ª Determinação			Média % Retida	
	Massa	% Retida		Massa	% Retida			
(mm)	Retida (g)	Simples	Acumul.	Retida (g)	Simples	Acumul.	Simples	Acumul.
4,8	4,30	0,84	0,84	4,90	0,96	0,96	0,90	0,90
2,4	19,60	3,92	4,76	17,50	3,50	4,46	3,71	4,61
1,2	28,50	5,70	10,46	33,50	6,70	11,16	6,20	10,81
0,6	76,90	15,38	25,84	89,40	17,88	29,04	16,63	27,44
0,3	292,30	58,46	84,30	288,30	57,66	86,70	58,06	85,50
0,15	69,80	13,96	98,26	57,60	11,52	98,22	12,74	98,24
FUNDO	8,60	1,72	99,98	8,80	1,76	99,98	1,74	99,98
TOTAL	499,90	99,98	-	499,90	99,98	-	99,98	-

Fonte: Autora (2016).

Os resultados das amostras obtiveram pequenas variações na quantidade de material retido em cada peneira.

**Figura 17:** Análise granulométrica do agregado miúdo

Fonte: Autora (2016).

#### 4.1.3. Agregado artificial (EPS)

As pérolas de EPS foram compradas em sacos com 0,335m³.

De acordo com o fabricante Isoplast (2016), a densidade das pérolas de EPS está em torno de 12 kg/m³. Possuem granulometria uniforme, com dimensão característica dos grãos de aproximadamente 6mm, conforme ilustrado na Figura 18.

**Figura 18:** Dimensão do EPS

Fonte: Autora (2016).

A Tabela 14 apresenta a composição granulométrica do agregado de EPS.

**Tabela 14:** Composição Granulométrica do agregado de EPS

Peneira	1ª Determinação			2ª Determinação			Média % Retida	
	Massa	% Retida		Massa	% Retida			
(mm)	Retida (g)	Simples	Acumul.	Retida (g)	Simples	Acumul.	Simples	Acumul.
9,5	0,2	1,33	1,33	0,30	2,00	2,00	1,67	1,67
6,3	3,40	22,67	24,00	4,30	28,67	30,67	25,67	27,33
4,8	5,70	38,00	62,00	5,30	35,33	66,00	36,67	64,00
2,4	3,90	26,00	88,00	4,00	26,67	92,67	26,33	90,33
1,2	1,20	8,00	96,00	0,70	4,67	97,33	6,33	96,67
0,6	0,50	3,33	99,33	0,30	2,00	99,33	2,67	99,33
0,3	0	-	99,33	0	-	99,33	-	99,33
0,15	0	-	99,33	0	-	99,33	-	99,33
FUNDO	0	-	99,33	0	-	99,33	-	99,33
TOTAL	14,90	99,33	-	14,90	99,33	-	99,33	-

Fonte: própria autora (2016).

O ensaio de granulometria do agregado de EPS teve que ser adaptado, em função do baixo peso específico e da capacidade das peneiras, por isso, foi utilizada uma massa de 15g de EPS. As amostras não obtiveram grandes variações no material retido em cada peneira.



O agregado de EPS é classificado como Brita 0, podendo ser utilizado na fabricação do concreto leve, e, de acordo com Kanning (2008), pode-se concluir que o agregado de EPS se caracteriza como um agregado graúdo sem finos.

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO LEVE NO ESTADO FRESCO

### 4.2.1. Consistência do concreto leve

A partir do ensaio de abatimento de tronco de cone, notou-se que a consistência do concreto leve utilizado na fabricação dos blocos apresentou pouca trabalhabilidade, devido à grande quantidade de EPS utilizada no traço. Por isso, o resultado do teste ficou abaixo de 10mm. A Figura 19 ilustra o resultado do ensaio.

**Figura 19:** Consistência do concreto leve



Fonte: Autora (2016).

Na figura, podemos observar que, por ser um concreto leve, a haste de socamento, quando penetrada em seu interior, provoca o aparecimento de vazios, acarretando a falta de adensamento correto das partículas (KANNING, 2008).

#### 4.3. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO LEVE NO ESTADO ENDURECIDO

##### 4.3.1. Resistência mecânica à compressão dos corpos de prova cilíndricos

Os corpos de prova foram submetidos à análise da resistência à compressão, utilizando a máquina universal EMIC, no Laboratório de Materiais de Construção do CEULP/ULBRA. A Figura 20 ilustra o corpo de prova sendo submetido ao ensaio.

**Figura 20:** Corpo de prova sendo submetido à ensaio de compressão



Fonte: Autora (2016).

. O traço utilizado para atingir massa específica de  $800\text{kg/m}^3$  possibilitou resistência média, aos 28 dias, de 3,35 Mpa, como demonstra a Tabela 15.

**Tabela 15:** Resistência à compressão dos corpos de prova

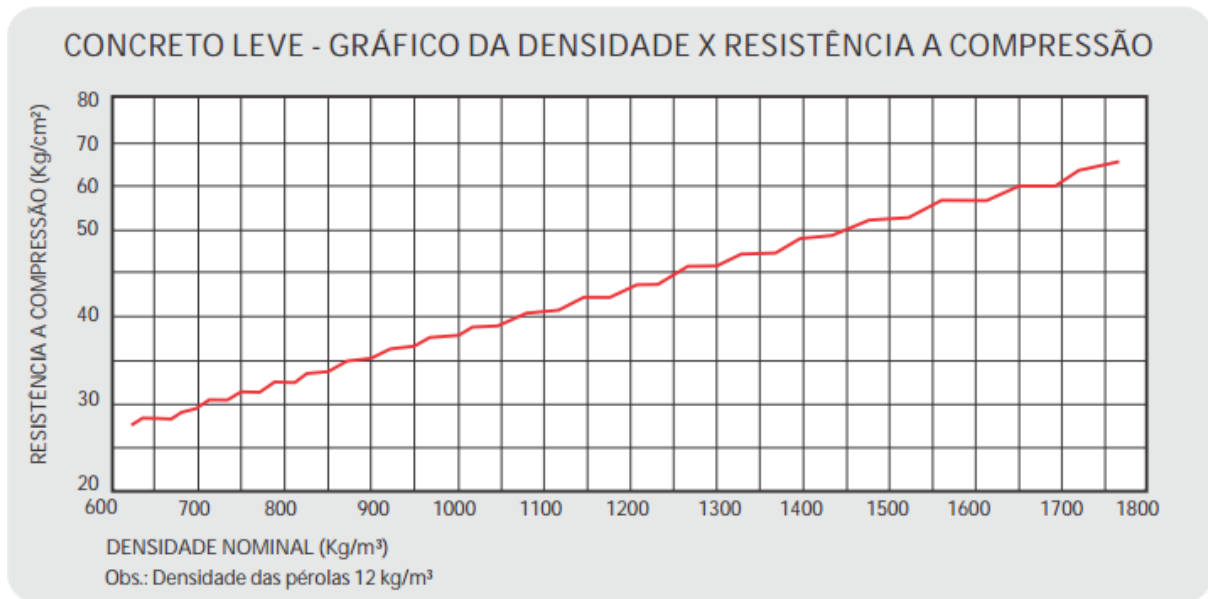
CP	Força de Ruptura (kgf)	Resistência (MPa)			
		07 Dias	14 Dias	21 Dias	28 Dias
01	1767	2,20	-	-	-
02	1962	2,50	-	-	-
03	2255	-	2,80	-	-
04	1973	-	2,50	-	-
05	2342	-	-	2,90	-
06	2006	-	-	2,50	-
07	2580	-	-	-	3,20
08	2764	-	-	-	3,50
<b>Média</b>	-	<b>2,35</b>	<b>2,55</b>	<b>2,70</b>	<b>3,35</b>
<b>Variação entre CP's (%)</b>	-	12,00	10,71	13,79	8,57

Fonte: Autora (2016).

Os resultados não obtiveram grandes variações entre os corpos de prova, e pôde ser observado que o concreto leve, aos 07 dias, atingiu 70,15% da resistência aos 28 dias, o que normalmente ocorre com os concretos em geral.

De acordo com o gráfico de resistência a compressão do concreto leve ilustrado na Figura 21, pode ser observado que para um concreto com peso específico de  $800\text{kg/m}^3$ , a resistência fica em torno de  $32,5\text{kgf/cm}^2$ , convertendo para a unidade de Megapascal, 3,18MPa, o que significa que a dosagem utilizada atendeu aos parâmetros normais de resistência.

**Figura 21:** Resistência a compressão do concreto leve



Fonte: ISOPLAST (2016).

Observou-se durante os ensaios, que o concreto leve não rompe facilmente, porém, apresenta alto índice de deformação antes da desagregação das partículas e ruína do sistema, podendo ser observada na Figura 22.

**Figura 22:** Corpo de prova após ensaio de compressão



Fonte: Autora (2016).

#### 4.4. BLOCOS *ISOPET*

##### 4.4.1. Fôrmas

As fôrmas utilizadas na fabricação dos blocos foram produzidas manualmente, pelo acadêmico Darlyel de Sousa Almeida, como ilustram as Figuras 23 e 24. Para tornar mais fácil a desfôrma, foram inseridas tábuas de madeira recortadas no fundo de cada fôrma, com espessura de 10mm. Assim as fôrmas tiveram dimensões de 41x42,5x15cm (grande) e 41x22,5x15cm (pequena), e os encaixes mediram 6cm de largura e 1,5cm de profundidade.

**Figura 23:** Fôrma de metal para fabricação dos blocos



Fonte: Autora (2016).

**Figura 24:** Fôrma para fabricação dos blocos



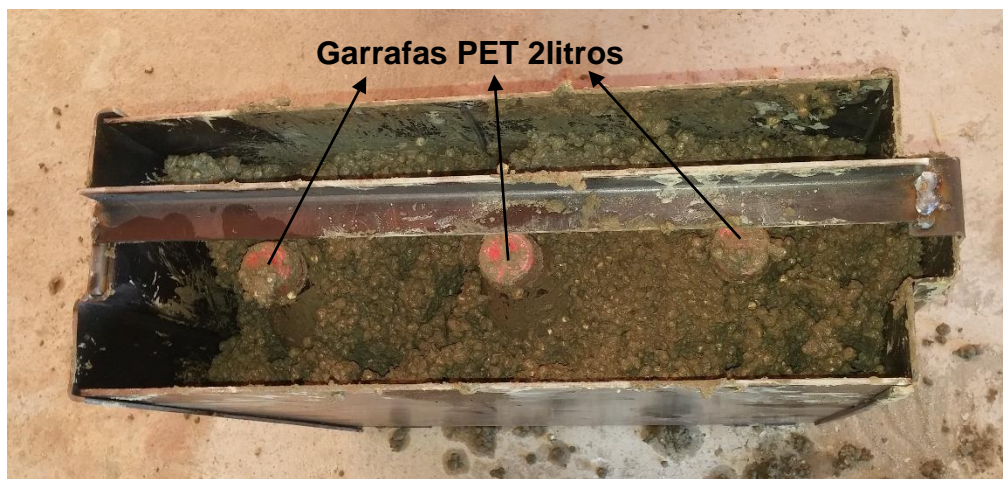
Fonte: Autora (2016).



#### 4.4.2. Fabricação dos blocos

Os blocos foram confeccionados manualmente pela autora em conjunto com o acadêmico Darlyel de Sousa Almeida, resultando em blocos com pequenas variações de tamanho, devido às fôrmas também serem produzidas manualmente. Após o lançamento do concreto, este foi adensado por meio de um vibrador nas paredes externas das fôrmas. Pode-se observar o posicionamento das garrafas PET em um bloco grande na Figura 25, e o resultado da moldagem nas Figuras 26 e 27.

**Figura 25:** Posicionamento das garrafas PET nos blocos



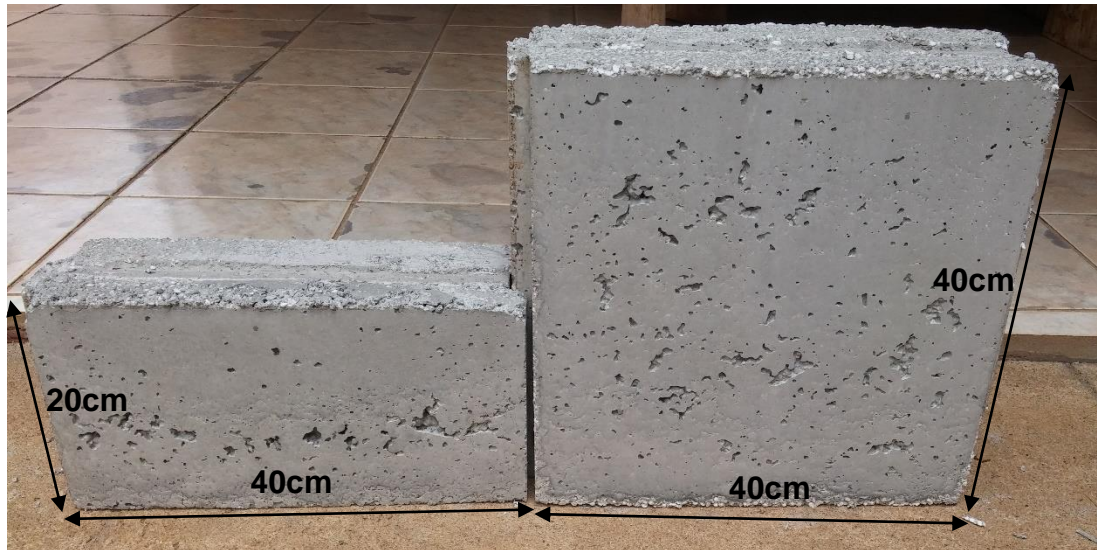
Fonte: Autora (2016).

**Figura 26:** Blocos moldados nas fôrmas



Fonte: Autora (2016).

**Figura 27:** Blocos Isopet



Fonte: Autora (2016).

Os blocos *Isopet* possuíram massa de em média 16kg (bloco grande) e 8kg (bloco pequeno).

De acordo com a norma NBR 6120 (1980) Versão Corrigida (2000), o peso específico aparente de uma parede de alvenaria de tijolos furados é de aproximadamente  $1325\text{kg/m}^3$  e do concreto convencional é de  $2447\text{kg/m}^3$ . Já do sistema construtivo *Isopet*, o peso específico calculado é de aproximadamente  $715\text{kg/m}^3$ .

Sendo assim, a utilização dos blocos *Isopet* diminui quase 50% do peso, comparando-o com as alvenarias convencionais de tijolos furados, possibilitando o cálculo de estruturas mais esbeltas e reduzindo a carga nas fundações, gerando economia nas construções, além do conforto térmico aos usuários.

#### 4.4.3. Resistência mecânica à compressão dos blocos Isopet

Os blocos *Isopet* foram caracterizados segundo sua resistência à compressão no Laboratório de Materiais de Construção Civil do CEULP/ULBRA, obedecendo a NBR 15270-3 (2005).

Os resultados obtidos pelos ensaios estão descritos na Tabela 16.

**Tabela 16:** Resistência à compressão dos blocos *Isopet*

CP	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Força de Ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
01	400	200	140	10126	1,80
02	400	200	140	10798	1,90
03	400	400	140	10971	1,90
04	400	400	140	10538	1,80
<b>Média</b>	-	-	-	-	<b>1,85</b>

Fonte: Autora (2016).

Os blocos obtiveram resistência satisfatória, atingindo média de 1,85MPa aos 28 dias, atendendo ao mínimo necessário de 1,5MPa para alvenaria de vedação. Ao analisarmos a diferença entre a resistência obtida pelos corpos de prova e pelos blocos, que foi de 1,5MPa, podemos observar a influência negativa das garrafas PET neste quesito.

Porém, o objetivo principal da adição das garrafas aos blocos é a diminuição do volume destes, e, conseqüentemente, do peso da alvenaria, além da vantagem ambiental em retirar estes resíduos do meio ambiente, contribuindo com a sustentabilidade.

#### 4.5. PROTÓTIPO DE BLOCOS ISOPET

O protótipo foi construído no Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), para possibilitar as medições de temperatura para verificação do desempenho térmico do sistema.

Primeiramente, foi assentada a primeira fiada dos blocos, utilizando argamassa de assentamento produzida *in loco* com traço 1:6 (cimento:areia), ilustrado na Figura 28.



**Figura 28:** Assentamento da primeira fiada dos blocos



Fonte: Autora (2016).

Após a primeira fiada ser concluída, os blocos começaram a ser encaixados um a um, sem a utilização de argamassa, conforme ilustrado na Figura 29.

**Figura 29:** Encaixe dos blocos



Fonte: Autora (2016).

Foi utilizada uma verga de concreto pré-moldado na fachada oeste, para possibilitar a abertura para realização dos ensaios de desempenho térmico, conforme ilustrado na Figura 30.

**Figura 30:** Assentamento de verga de concreto pré-moldado



Fonte: Autora (2016).

A Figura 31 ilustra o encunhamento das paredes, em que foram utilizados tijolos cerâmicos, já que os blocos *Isopet* não possibilitam o corte devido ao emprego das garrafas PET.

**Figura 31:** Encunhamento das paredes



Fonte: Autora (2016).



Por fim, foram utilizadas telhas de fibrocimento na cobertura do protótipo, conforme ilustrado na Figura 32.

**Figura 32:** Protótipo de blocos Isopet (fachadas sul e leste)



Fonte: Autora (2016).

Para sanar algumas falhas nos encaixes dos blocos, foi utilizada a mesma argamassa de assentamento da primeira fiada somente do lado externo do protótipo, já que o protótipo não recebeu camada de reboco.

**Figura 33:** Protótipo de blocos Isopet (fachadas Norte e Oeste)



Fonte: Autora (2016).

## 4.6. CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA

### 4.6.1. Desempenho através da NBR 15575

Para caracterizar o desempenho térmico do sistema construtivo *Isopet*, foram realizadas medições das temperaturas ambientes, assim como das temperaturas nas fachadas do protótipo construído, tanto externas quanto internas, em 3 (três) dias típicos de verão na cidade de Palmas - TO. As tabelas que ilustram as medições nas fachadas se encontram no Anexo A.

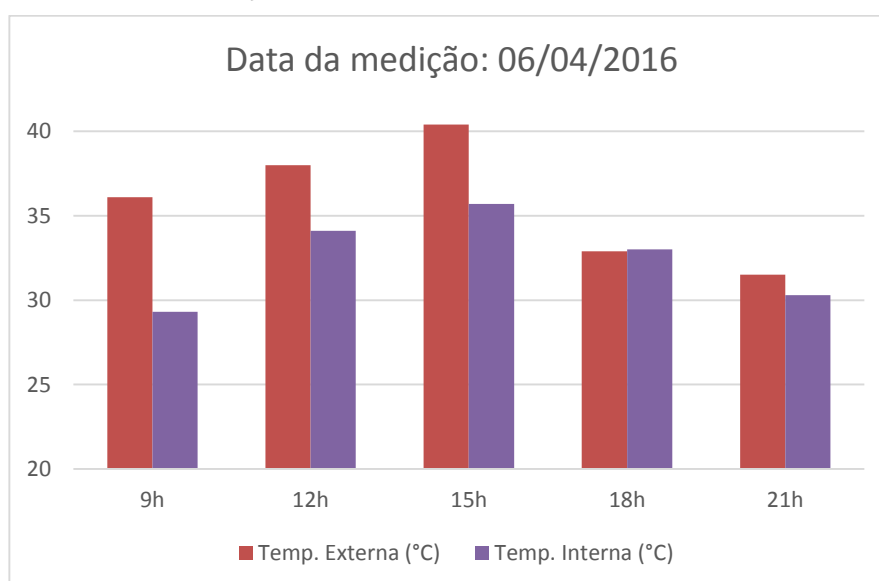
De acordo com as medições, o sistema se caracteriza com desempenho superior, de acordo com a NBR 15575 (2013), pois a diferença entre as temperaturas externas e internas, atingiu marcas superiores a 4,0°C, como pode ser observado nas tabelas e figuras a seguir.

**Tabela 17:** Variações de Temperatura Ambiente

06/04/2016	Horário das medições				
	9h	12h	15h	18h	21h
Temp. Externa (°C)	36,1	38,0	40,4	32,9	31,5
Temp. Interna (°C)	29,3	34,1	35,7	33,0	30,3
Variação da Temperatura (°C)	-6,8	-3,9	-4,7	+0,1	-1,2

Fonte: Autora (2016).

**Figura 34:** Variações de Temperatura Ambiente

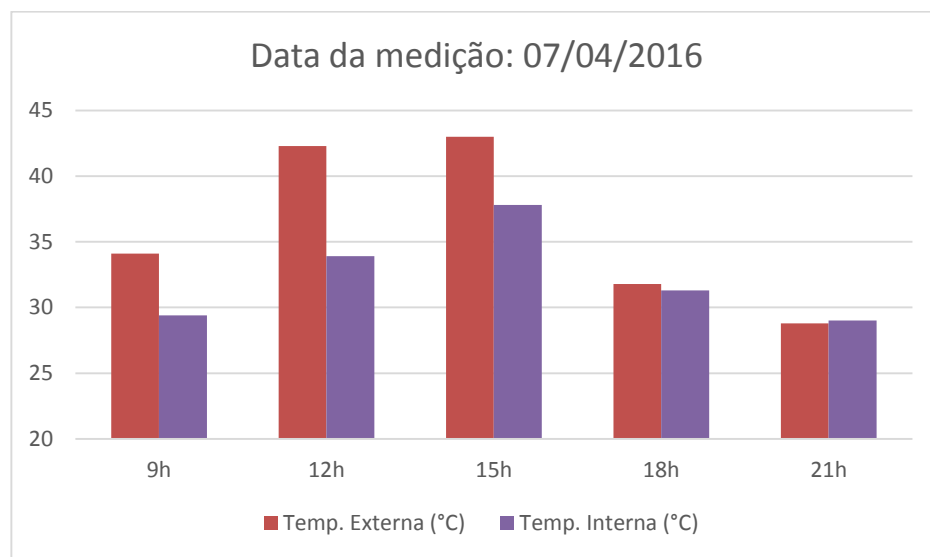


Fonte: Autora (2016).

**Tabela 18:** Variações de Temperatura Ambiente

07/04/2016	Horário das medições				
	9h	12h	15h	18h	21h
Temp. Externa (°C)	34,1	42,3	43,0	31,8	28,8
Temp. Interna (°C)	29,4	33,9	37,8	31,3	29,0
Variação da Temperatura (°C)	-4,7	-8,4	-5,2	-0,5	+0,2

Fonte: Autora (2016).

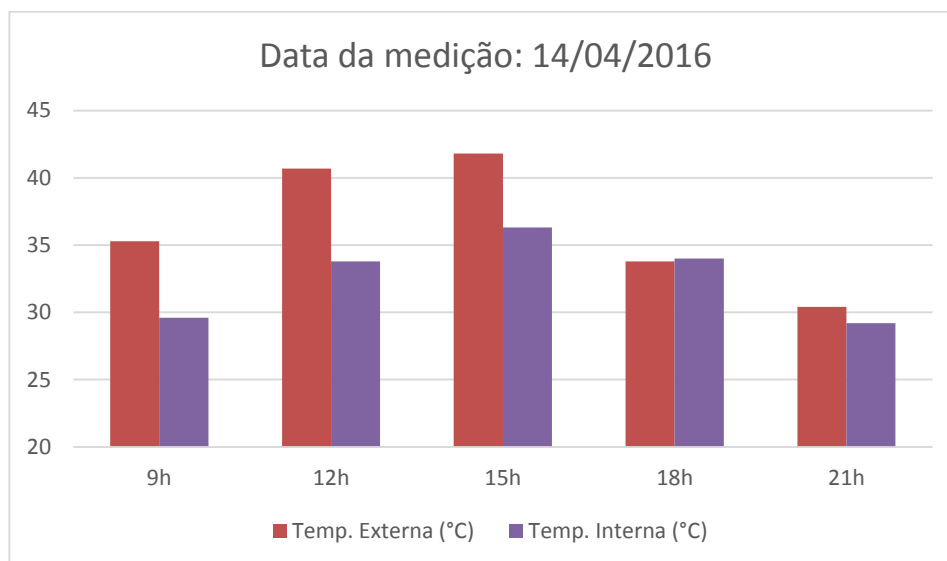
**Figura 35:** Variações de Temperatura Ambiente

Fonte: Autora (2016).

**Tabela 19:** Variações de Temperatura Ambiente

14/04/2016	Horário das medições				
	9h	12h	15h	18h	21h
Temp. Externa (°C)	35,3	40,7	41,8	33,8	30,4
Temp. Interna (°C)	29,6	33,8	36,3	34,0	29,2
Variação da Temperatura (°C)	-5,7	-6,9	-5,5	+0,2	-1,2

Fonte: Autora (2016).

**Figura 36:** Variações de Temperatura Ambiente

Fonte: Autora (2016).

A maior variação de temperatura foi observada no dia 07 de abril de 2016, conforme pode ser observada na Tabela 18, às 12 horas da manhã, obtendo 8,4°C de diferença. Porém, a maior temperatura verificada durante as medições, também no dia 07 de abril, foi de 43,0°C (temperatura externa), e a temperatura interna no mesmo momento, era de 35,7°C.

Assim, o sistema é caracterizado como desempenho térmico superior, já que variação da temperatura máxima diária do ar no interior da edificação foi maior que 4°C, satisfazendo o critério de avaliação do desempenho térmico da NBR 15575 (2013).

4.6.1.1. Comparação do desempenho térmico do sistema construtivo *Isopet* com sistemas de alvenaria estrutural de blocos de concreto e blocos cerâmicos, através de bibliografias anteriores.

Para a comparação do desempenho térmico do sistema *Isopet*, foram utilizados dados do trabalho de Silva (2012), em que foi feito um estudo comparativo do desempenho térmico em edificações verticais de alvenaria estrutural em Palmas – TO.

Silva (2012) verificou as temperaturas externas e internas das paredes de edifícios em construção de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e blocos de concreto com paredes já rebocadas.

Foram feitas medições no período matutino e vespertino, com proximidade aos horários das medições realizadas pela autora neste trabalho, e, devido às medições de Silva terem sido feitas em época do ano diferente da autora, foram analisadas as diferenças de temperatura apenas das fachadas do Sol nascente e poente, ou seja, leste e oeste.

As tabelas 20 e 21 demonstram as variações de temperatura observadas pela autora no sistema construtivo *Isopet* nos períodos matutino e vespertino.

**Tabela 20:** Média da variação de temperatura do período matutino

Fachada	06/04/2016	07/04/2016	14/04/2016	Média
Oeste	-2,4	-3,5	-3,5	-3,1
Leste	-15,6	-13,2	-15,4	-14,7

Fonte: Autora (2016).

**Tabela 21:** Média da variação de temperatura do período vespertino

Fachada	06/04/2016	07/04/2016	14/04/2016	Média
Oeste	-7,3	-11,8	-11,2	-10,1
Leste	-5,9	-3,1	-5,1	-4,7

Fonte: Autora (2016).

As tabelas 22 e 23 demonstram as variações de temperatura observadas por Silva (2012) em sistemas construtivos de alvenaria estrutural de blocos de concreto e blocos cerâmicos nos períodos matutino e vespertino.

De acordo com o autor, o Edifício Cidade Jardim foi construído com blocos de concreto e o Edifício Boulevard com blocos cerâmicos.

**Tabela 22:** Diferenças de temperaturas no período matutino em construções de alvenaria estrutural

Diferenças de Temperaturas (° C)				
	Norte (1)	Oeste (2)	Sul (3)	Leste (4)
Cid. Jardim	-2,28	-0,92	-1,62	-3,46
Boulevard	-5,31	-2,27	-2,93	-12,79

Fonte: SILVA (2012).

**Tabela 23:** Diferenças de temperaturas no período vespertino em construções de alvenaria estrutural

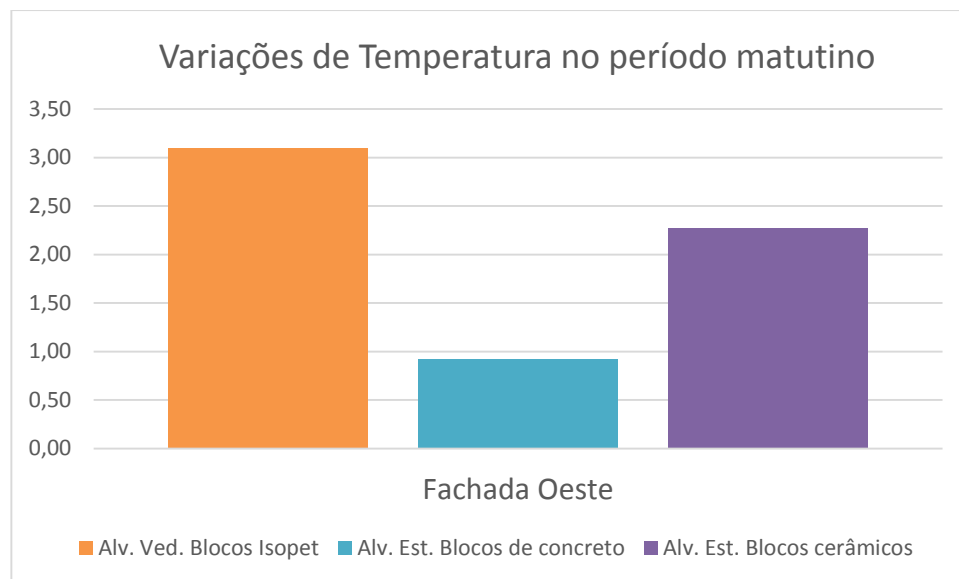
<b>Diferenças de Temperaturas (° C)</b>				
	Norte (1)	Oeste (2)	Sul (3)	Leste (4)
Cid. Jardim	-1,43	-4,44	-1,42	-1,03
Boulevard	-3,45	-9,64	-3,20	-3,29

Fonte: SILVA (2012).

A partir destes dados, é possível fazer uma comparação do desempenho térmico destes sistemas, nas fachadas Oeste e Leste.

As Figuras 37 e 38 ilustram as variações de temperaturas no período matutino.

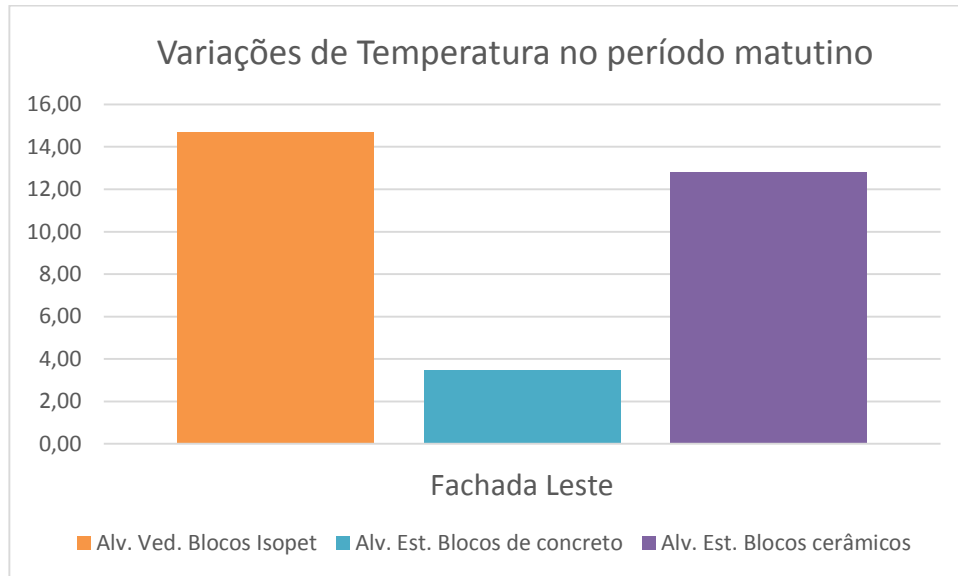
**Figura 37:** Variações de Temperatura no período matutino nas fachadas Oeste



Fonte: Autora (2016).



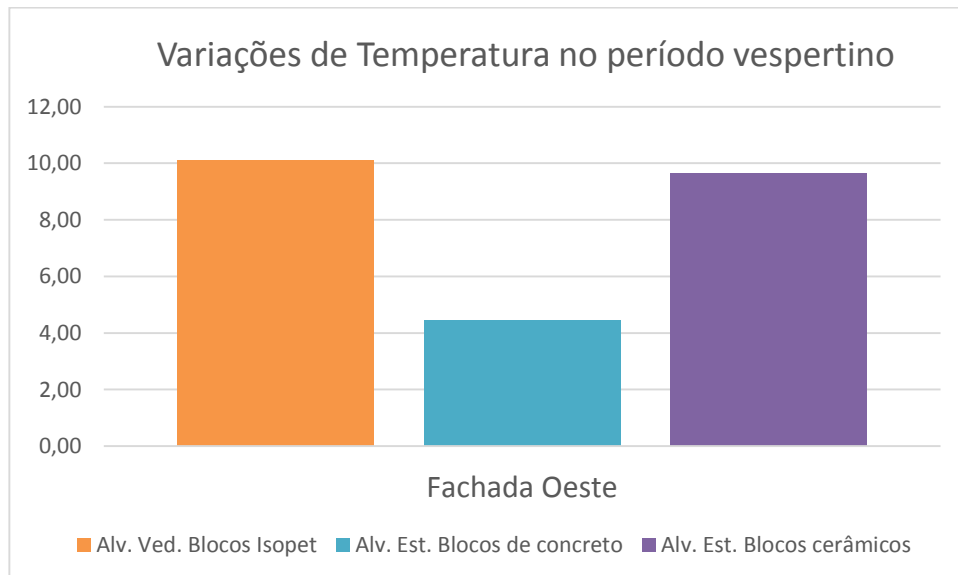
**Figura 38:** Variações de Temperatura no período matutino nas fachadas Leste



Fonte: Autora (2016).

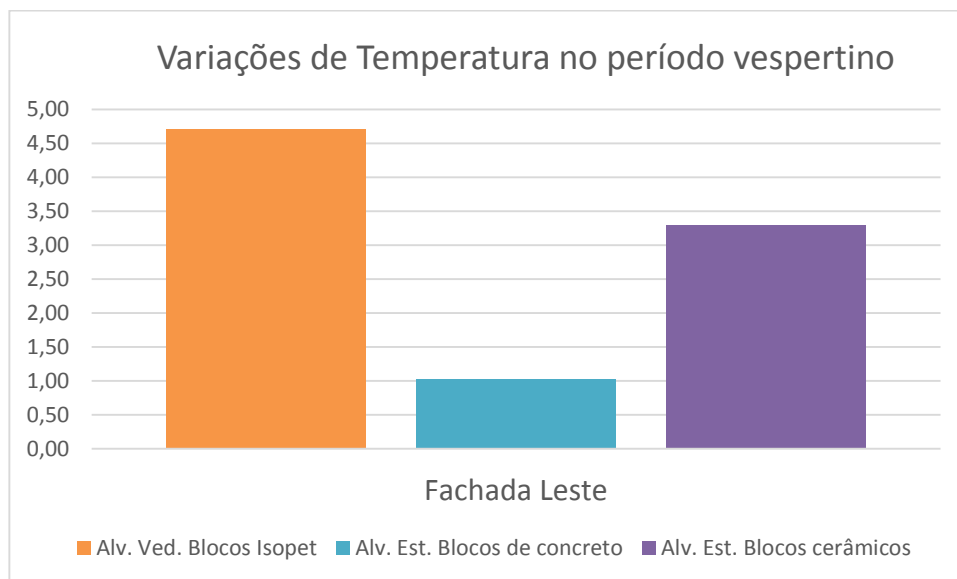
Já as Figuras 39 e 40 ilustram as variações de temperatura no período vespertino.

**Figura 39:** Variações de Temperatura no período vespertino nas fachadas Oeste



Fonte: Autora (2016).

**Figura 40:** Variações de Temperatura no período vespertino nas fachadas Leste



Fonte: Autora (2016).

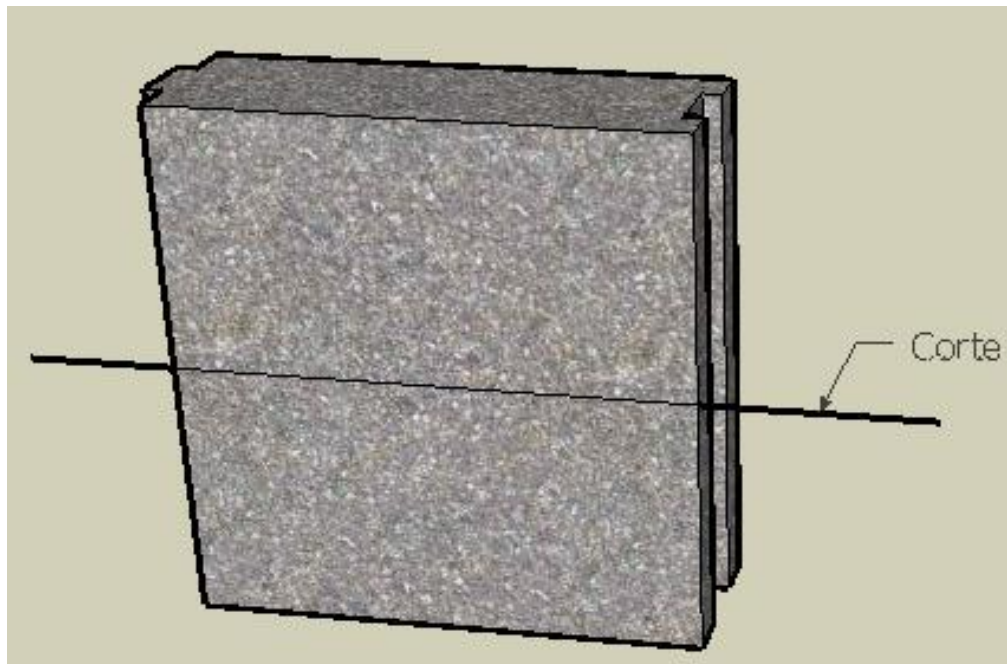
Foi verificado que, os blocos *Isopet* são mais eficientes, no período matutino, até 324,86% que os blocos de concreto e 36,56% que os blocos cerâmicos, e, no período vespertino, até 356,31% que os blocos de concreto e 42,86% que os blocos cerâmicos.

A partir destes resultados, pode-se afirmar que a alvenaria de blocos *Isopet* possui desempenho térmico superior à alvenaria estrutural, tanto de blocos de concreto, quanto de blocos cerâmicos. Vale ressaltar que o protótipo onde foram feitas as medições de temperatura não recebeu nenhuma camada de revestimento como receberam as alvenarias estruturais. Se tivesse recebido revestimento, seu desempenho térmico seria ainda maior.

#### 4.6.2. Cálculos da resistência térmica, transmitância térmica e capacidade térmica do sistema construtivo Isopet através da NBR 15220-2

Para a realização dos cálculos, foi adotado um corte no meio do bloco, como ilustram as Figuras 41 e 42, para a verificação da área das seções, indicadas na Figura 42.

**Figura 41:** Bloco *Isopet*



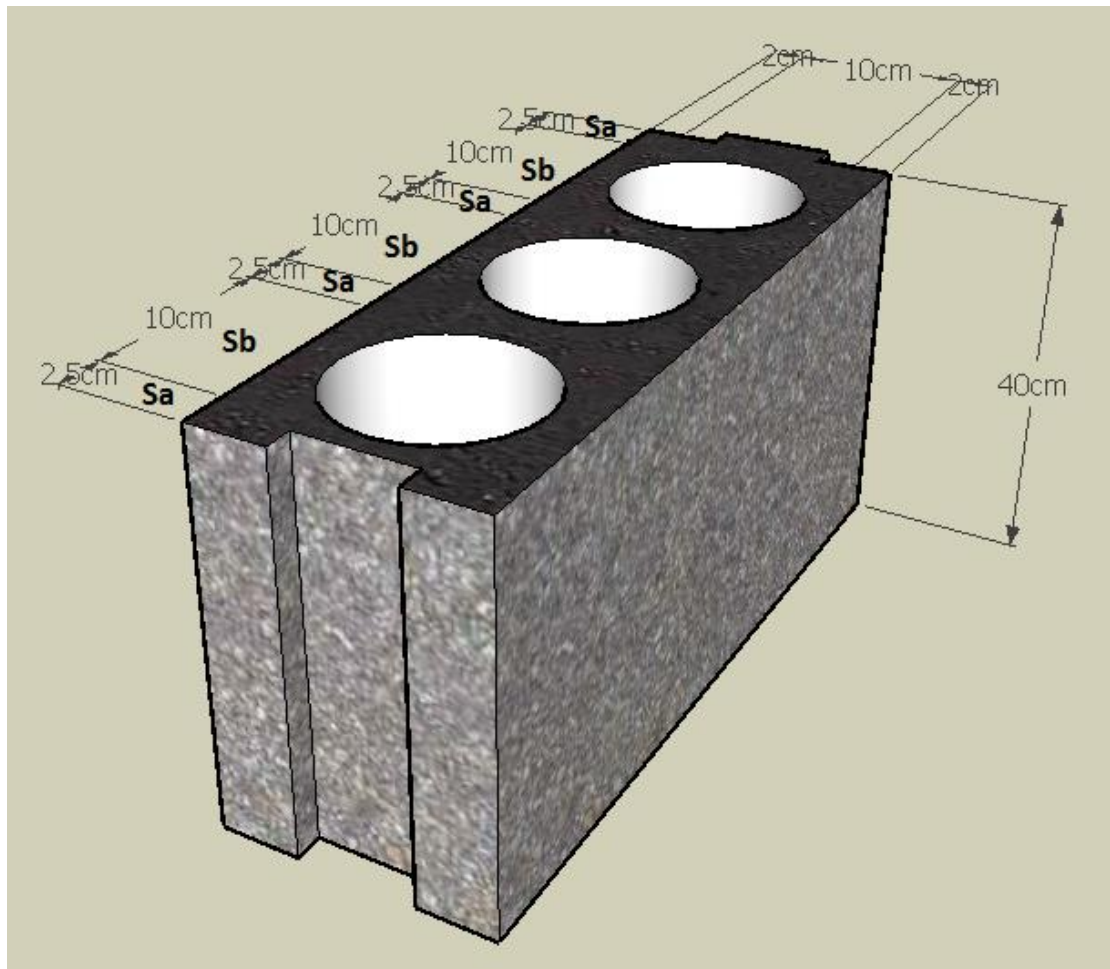
Fonte: Autora (2016).

**Figura 42:** Corte Bloco *Isopet*



Fonte: Autora (2016).

**Figura 43:** Vista em perspectiva



Fonte: Autora (2016).

Para efeito de cálculo, foi excluída a participação da garrafa PET, devido à sua mínima espessura, analisando apenas o ar aprisionado dentro dela, juntamente com o concreto leve do bloco.

Dados:

Dimensões do bloco = 40cm x 40cm x 14cm

$\rho$  concreto leve = 800 kg/m<sup>3</sup>

$\lambda$  concreto leve = 0,334 W/(m.K) (valor determinado estatisticamente)

C concreto leve = 1,190 kJ/(kg.K) (valor determinado estatisticamente)

Para a câmara de ar,  $R_{ar} = 0,17(\text{m}^2.\text{k})/\text{W}$  (Tabela 10, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar > 5,0cm, fluxo horizontal).

#### 4.6.2.1. Resistência térmica

##### a) Resistência térmica da parede

Seção A (concreto leve):

$$A_a = 0,025 \times 0,4 = \mathbf{0,01m^2}$$

$$R_a = \frac{e_{conc.leve}}{\lambda_{conc.leve}} = \frac{0,14}{0,334} = \mathbf{0,419 (m^2.K)/W}$$

Seção B (concreto leve + câmara de ar + concreto leve)

$$A_b = 0,1 \times 0,4 = \mathbf{0,04m^2}$$

$$\begin{aligned} R_b &= \frac{e_{conc.leve}}{\lambda_{conc.leve}} + R_{ar} + \frac{e_{conc.leve}}{\lambda_{conc.leve}} = \frac{0,02}{0,334} + 0,17 + \frac{0,02}{0,334} \\ &= \mathbf{0,290 (m^2.K)/W} \end{aligned}$$

Portanto, a resistência térmica da parede é:

$$R_t = \frac{4.A_a + 3.A_b}{\frac{4.A_a}{R_a} + \frac{3.A_b}{R_b}} = \frac{4 \times 0,01 + 3 \times 0,04}{\frac{4 \times 0,01}{0,419} + \frac{3 \times 0,04}{0,290}} = \frac{0,16}{0,509} = \mathbf{0,314 (m^2.K)/W}$$

##### b) Resistência térmica total:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0,13 + 0,314 + 0,04 = \mathbf{0,484 (m^2.K)/W}$$

#### 4.6.2.2. Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,484} = \mathbf{2,066 \text{ W}/(m^2 \cdot K)}$$

#### 4.6.2.3. Capacidade térmica

Seção A (concreto leve):

$$C_{Ta} = (e \cdot c \cdot \rho)_{conc.leve} = 0,14 \times 1,19 \times 800 = \mathbf{133,28 \text{ kJ}/(m^2 \cdot K)}$$

Seção B (concreto leve + câmara de ar + concreto leve)

$$C_T = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{conc.leve} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{conc.leve}$$

Desprezando a capacidade térmica da câmara de ar, tem-se:

$$C_{Tb} = 0,025 \times 1,19 \times 800 + 0 + 0,025 \times 1,19 \times 800 = \mathbf{47,60 \text{ kJ}/(m^2 \cdot K)}$$

Portanto, a capacidade térmica da parede é:

$$C_T = \frac{4 \cdot A_a + 3 \cdot A_b}{\frac{4 \cdot A_a}{C_{Ta}} + \frac{3 \cdot A_b}{C_{Tb}}} = \frac{4 \cdot 0,01 + 3 \cdot 0,04}{\frac{4 \cdot 0,01}{133,28} + \frac{3 \cdot 0,04}{47,60}} = \mathbf{56,71 \text{ kJ}/(m^2 \cdot K)}$$

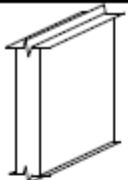
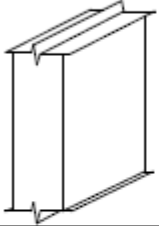
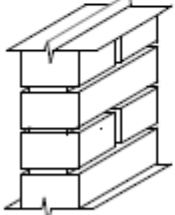
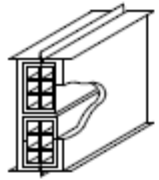
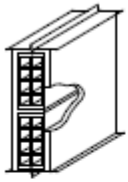
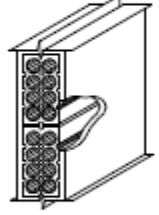
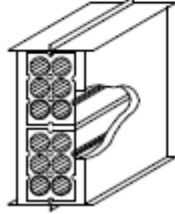
A NBR 15220-3 fornece os valores de transmitância térmica e capacidade térmica para algumas paredes, ilustradas na Tabela 24.

Se a resistência térmica é a dificuldade imposta ao calor ao atravessar um determinado elemento, a transmitância térmica é a facilidade, já que é seu inverso. Por isso, quanto menor seu valor, maior o desempenho térmico. Já a capacidade térmica é a quantidade de calor necessária que um corpo necessita para sofrer

variação de temperatura, ou seja, quanto maior o valor, mais demorado torna-se o resfriamento desse corpo, afetando negativamente o desempenho térmico.

Todas as paredes ilustradas na Tabela 24 possuem emboço em ambos os lados, e os cálculos realizados para os blocos *Isopet* não consideraram nenhuma camada de revestimento. No entanto, mesmo sem considerar o revestimento, o sistema *Isopet* apresentou valores de transmitância térmica e capacidade térmica menores que o das paredes ilustradas, obtendo desempenho térmico superior às paredes convencionais.

**Tabela 24:** Transmitância térmica e capacidade térmica para algumas paredes

Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240
	Parede de tijolos maciços aparentes Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm	3,70	149
	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159
	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,49	158
	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,24	167
	Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,28	168

Fonte: NBR 15220-3 (2005).



## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A caracterização dos agregados, os processos de produção, os valores de resistência a compressão e verificações do desempenho térmico permitem concluir que:

A trabalhabilidade do concreto leve foi afetada negativamente pela consistência seca, o que ocasionou o aparecimento de vazios, devido a moldagem manual dos blocos. Estes vazios podem afetar a durabilidade da alvenaria, assim como afetar a resistência, por isso é necessário que o concreto seja vibrado e/ou adensado corretamente, evitando a formação destes;

Os blocos *Isopet* apresentam valores de resistência mecânica superiores aos estipulados pela NBR 15270-1 (2005), servindo, portanto, para utilização como alvenaria de vedação;

A utilização dos blocos *Isopet* diminui quase 50% do peso comparando-o com as alvenarias convencionais de tijolos furados, já que o peso específico do sistema possui apenas 715kg/m<sup>3</sup> e o da alvenaria de tijolos furados é de 1325kg/m<sup>3</sup>, segundo NBR 6120 (2000), ocasionando um grande custo-benefício, já que pode diminuir a quantidade de aço empregada nas estruturas, a resistência do concreto, assim como eliminar gastos nas fundações;

O protótipo construído cumpriu adequadamente sua função, possibilitando a verificação do desempenho térmico do sistema;

O desempenho térmico do sistema construtivo *Isopet* deixou claro a vantagem da sua utilização como forma de reduzir a transferência de calor do meio externo para o meio interno, pois foi capaz de reduzir a temperatura interna do ambiente em até 20%, atingindo, segundo a NBR 15575 (2013), desempenho de nível superior;

Comparando-se à sistemas de alvenaria estrutural de blocos de concreto e blocos cerâmicos, as diferenças de temperaturas entre as faces aquecidas e resfriadas das fachadas construídas com blocos *Isopet* aumentaram em até 356,31% e 42,86%, respectivamente para os blocos de concreto e blocos cerâmicos, ficando evidente que o desempenho térmico de uma edificação é afetado diretamente pelo peso específico do material utilizado na vedação;

Os blocos *Isopet* apresentaram valores de transmitância térmica e capacidade térmica menores que o das paredes convencionais, observadas na Tabela 24, isto

significa que, provando matematicamente pelos cálculos expressos na NBR 15220-2 (2005), o sistema possui desempenho térmico melhorado;

Além da contribuição para a melhoria do conforto térmico dos usuários das edificações, o reaproveitamento do EPS como agregado e das garrafas PET permitem reduzir o impacto causado pelo descarte desse material no meio ambiente.

Para trabalhos futuros, fica a sugestão da realização de ensaios de resistência ao fogo, aplicação de revestimentos, comparação de resistência mecânica utilizando traços com proporções diferentes, obtendo um traço com melhor custo-benefício, comparação do desempenho térmico com sistemas que também possuem o objetivo do isolamento térmico, verificação do desempenho acústico do sistema e construção de uma edificação utilizando o sistema.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPET. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br>>. Acesso em: 27 ago. 2015.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1999.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-1**: Componentes Cerâmicos – Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-3**: Componentes Cerâmicos – Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABRAPEX. Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br>>. Acesso em: 27 ago. 2015.

ACI Committee, 212, “**Admixtures for concrete**,” Concr. Int., Vol 3, Nº 5, pp 24-52, 1981.

ANGELIN, Andressa Fernanda. **Concreto leve estrutural:** Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia, Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

AURÉLIO SOBRINHO, Carlos. **Desenvolvimento sustentável: uma análise a partir do Relatório Brundtland.** 197 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Sociais, Faculdade de Filosofia e Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Marília, 2008.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 1997.

BARBOSA, N. P., GHAVAMI, K. **Materiais de construção civil e os princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção 1.** 5. ed. Revisada. [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: Ltc, 2015. 488 p.

BEZERRA, Luciano A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo.** 64 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

BRASIL HOBBY. **Termo Higrômetro Digital HT-600**. Disponível em: <<http://www.brasilhobby.com.br/descricao.asp?CodProd=I06337>>. Acesso em: 06 out. 2015.

CATOIA, Thiago. **Concreto ultraleve estrutural com pérolas de EPS**: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de Edificações Habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO: **NOSSO FUTURO COMUM**. Rio de Janeiro: FGV, 1988.

DEGANI, Clarice Menezes. **Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios**. 223 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DIAS, Adriana. **Avaliação das condições de conforto térmico e acústico de salas de aula em escolas de tempo integral**: estudo de caso da Escola Padre Josino em Palmas (TO). 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FÓRUM DA CONSTRUÇÃO. **Alvenaria Estrutural**: vantagens, desvantagens e cuidados. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=7&Cod=1252>>. Acesso em: 30 set. 2015.

GALLI, B. et al. **Uso de garrafas de Poli-Tereftalato de Etileno – PET como insumo alternativo na construção de edificações residenciais**. 2012. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/2012/08/24/uso-de-garrafas-de-poli-tereftalato-de-etileno-pet-como-insumo-alternativo-na-construcao-de-edificacoes-residenciais/>>. Acesso em: 15 out. 2015.

GOMES, J. A. Veloso. **Avaliação do desempenho de edifícios segundo a Norma NBR 15575**: adaptação ao caso de edifício reabilitado. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2015.

HOLM, T. A.; BREMNER, T. W. **State-of-the-art report on high-strength, high-durability structural low-density concrete for applications in severe marine environments**. US Arm Corps of Engineers – Engineer Research and Development Center. ERDC/SL TR-00-3, 2000. 116p.

ISOFÉRES. **Concreto Leve de EPS**. Disponível em: <<http://www.isoferes.com.br/imagens/ARQUIVOS%20PDF%20SITE/CONCRETO%20LEVE.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2015.

ISOPLAST. **Construção Civil**. Disponível em: <[http://www.isoplast.ind.br/isoplast/infusions/pro\\_download\\_panel/download.php?did=10](http://www.isoplast.ind.br/isoplast/infusions/pro_download_panel/download.php?did=10)>. Acesso em: 09 mar. 2016.

KANNING, Rodrigo César. **Estudo das características mecânicas de paredes executadas com blocos Isopet**. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Pesquisa e Pós-graduação do Campus de Curitiba, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

KAPPAUN, Kamila. **Avaliação do desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 brasileira**. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

MATTOS, Mariana Costa. **Planejamento da vida útil na construção civil: uma metodologia para a aplicação da Norma de Desempenho (NBR 15575) em sistemas de revestimentos de pintura**. 221 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MERCADO LIVRE. **Termometro Digital Infravermelho Mira Laser E Mede -32º-380º**. Disponível em: <<http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-699188084->

termometro-digital-infravermelho-mira-laser-e-mede-32-380-\_JM>. Acesso em: 06 out. 2015.

PEDREIRÃO. **Alvenaria**: como construir parede de tijolos ou blocos. Disponível em: <<http://pedreira.com.br/alvenarias-e-reboco/alvenaria-como-construir-as-paredes-de-tijolos-ou-blocos/>>. Acesso em: 30 set. 2015.

PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. **NBR 15575 - Edificações Habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho**. Disponível em: <<https://qualidadeonline.wordpress.com/2010/03/29/nbr-15575---edificacoes-habitacionais-de-ate-cinco-pavimentos---desempenho/>>. Acesso em: 09 out. 2015.

ROSSIGNOLO, João Adriano. **Concreto leve estrutural**: produção, propriedades, microestrutura e aplicações. São Paulo: Pini, 2009.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. Concreto estrutural leve. In: ISAIA, G.C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo, IBRACON, 2005. Cap. 43, v.2, p.1333-1362.

ROTH, Caroline das Graças; GARCIAS, Carlos Mello. **Construção Civil e a Degradação Ambiental**. Desenvolvimento em Questão, Curitiba, v. 7, n. 13, p.111-128, 2009. Semestral. Disponível em: <<https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/169/125>>. Acesso em: 27 ago. 2015.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Alvenaria Estrutural**: Materiais, execução da estrutura e controle tecnológico. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2002.

SILVA, Jefferson Patric da. **Estudo comparativo do desempenho térmico em edificações verticais de alvenaria estrutural em Palmas - TO**. 161 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2012.

STYROEME. **Pérolas de EPS (Isopor®)**. Disponível em: <<http://styroeme.com.br/eps-perolas.html>>. Acesso em: 01 out. 2015.

TECNOCELL. **EPS**. Disponível em: <<http://www.tecnocell.com.br/index.htm>>. Acesso em: 11 set. 2015.

TERMOEPS. **O EPS e o meio ambiente**: Informações sobre o comportamento ambiental do poliestireno expandido. Disponível em:

<<http://www.termoeeps.com.br/imagens/meioambiente/oepseomeioambiente.pdf>>.  
Acesso em: 27 ago. 2015.

THOMAZ, Ercio et al. **Código de práticas nº 01: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2009. (Publicação IPT; 3011).

VIEGAS, Leila Soares. **Blocos para execução de alvenaria de vedação empregando garrafas PET: Avaliação mecânica e termo-acústica**. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba / Centro de Tecnologia, João Pessoa, 2012.



## APÊNDICE A

### **Medições de temperatura externa e interna nas fachadas do protótipo de blocos *Isopet***

A.1. Medições das temperaturas externas e internas nas fachadas no dia 06 de abril de 2016

06/04/2016	Horário das medições				
	9h	12h	15h	18h	21h
<b>Norte</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	32,0	37,2	39,8	34,9	33,0
<b>Temp. Interna (°C)</b>	28,7	32,9	33,7	35,9	33,4
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-3,3</b>	<b>-4,3</b>	<b>-6,1</b>	<b>+1,0</b>	<b>+0,4</b>
<b>Leste</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	47,1	41,0	37,9	34,2	32,9
<b>Temp. Interna (°C)</b>	31,5	36,3	32,0	34,6	32,1
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-15,6</b>	<b>-4,7</b>	<b>-5,9</b>	<b>+0,4</b>	<b>-0,8</b>
<b>Sul</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	31,9	36,3	38,4	33,9	32,7
<b>Temp. Interna (°C)</b>	29,7	33,8	33,0	34,4	31,9
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-2,2</b>	<b>-2,5</b>	<b>-5,4</b>	<b>+0,5</b>	<b>-0,8</b>
<b>Oeste</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	30,9	34,3	47,0	39,2	34,6
<b>Temp. Interna (°C)</b>	28,5	33,8	39,7	40,4	35,0
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-2,4</b>	<b>-0,5</b>	<b>-7,3</b>	<b>+1,2</b>	<b>+0,4</b>

Fonte: Autora (2016).

A.2. Medições das temperaturas externas e internas nas fachadas no dia 07 de abril de 2016

07/04/2016	Horário das medições				
	9h	12h	15h	18h	21h
<b>Norte</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	34,9	38,3	44,8	33,0	29,7
<b>Temp. Interna (°C)</b>	28,5	33,1	37,6	34,1	30,3
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-6,4</b>	<b>-5,2</b>	<b>-7,2</b>	<b>+1,1</b>	<b>+0,6</b>
<b>Leste</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	44,1	42,0	41,5	31,7	29,5
<b>Temp. Interna (°C)</b>	30,9	33,2	38,4	32,8	30,3
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-13,2</b>	<b>-8,8</b>	<b>-3,1</b>	<b>+1,1</b>	<b>+0,8</b>
<b>Sul</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	32,1	37,0	39,8	31,8	28,8
<b>Temp. Interna (°C)</b>	28,4	33,0	37,0	33,0	29,7
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-3,7</b>	<b>-4,0</b>	<b>-2,8</b>	<b>+1,2</b>	<b>+0,9</b>
<b>Oeste</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	31,9	36,6	49,8	37,7	30,8
<b>Temp. Interna (°C)</b>	28,4	32,7	38,0	37,9	31,6
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-3,5</b>	<b>-3,9</b>	<b>-11,8</b>	<b>+0,2</b>	<b>+0,8</b>

Fonte: Autora (2016).

A.1. Medições das temperaturas externas e internas nas fachadas no dia 14 de abril de 2016

14/04/2016	Horário das medições				
	9h	12h	15h	18h	21h
<b>Norte</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	36,1	38,4	40,2	33,8	31,0
<b>Temp. Interna (°C)</b>	29,7	32,7	35,6	34,4	30,8
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-6,4</b>	<b>-5,7</b>	<b>-4,6</b>	<b>+0,6</b>	<b>-0,2</b>
<b>Leste</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	46,2	44,3	43,1	33,3	30,4
<b>Temp. Interna (°C)</b>	30,8	33,6	38,0	34,1	29,7
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-15,4</b>	<b>-10,7</b>	<b>-5,1</b>	<b>+0,8</b>	<b>-0,7</b>
<b>Sul</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	32,3	37,9	41,0	32,6	29,9
<b>Temp. Interna (°C)</b>	28,7	33,1	35,9	33,9	29,6
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-3,6</b>	<b>-4,8</b>	<b>-5,1</b>	<b>+1,3</b>	<b>-0,3</b>
<b>Oeste</b>					
<b>Temp. Externa (°C)</b>	31,8	37,0	48,2	38,8	33,2
<b>Temp. Interna (°C)</b>	28,3	32,9	37,0	39,4	31,3
<b>Variação da Temperatura (°C)</b>	<b>-3,5</b>	<b>-4,1</b>	<b>-11,2</b>	<b>+0,6</b>	<b>-1,9</b>

Fonte: Autora (2016).