

## ÁREA TEMÁTICA 2: Ferramentas de Gestão Ambiental

### **EFICIÊNCIA MECÂNICA E TÉRMICA DE ENVOLTÓRIOS ESTRUTURAIS EM COMPÓSITO LEVE PARA PRÉ-FABRICAÇÃO DE CASA POPULAR**

*Prof. Antonio Cláudio Ximenes Massa<sup>1</sup> (antonio.massa@unipe.edu.br), Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Pollyana Caetano Ribeiro Fernandes<sup>2</sup> (pollyana@cear.ufpb.br), Prof. Dr. Marçal Rosas Florentino Lima Filho<sup>2</sup> (marcal@cear.ufpb.br)*

1 Centro Universitário de João Pessoa - UNIPE

2 Universidade Federal da Paraíba - UFPB

#### **Resumo**

Para contribuir com o melhoramento dos sistemas construtivos de casas populares em regiões tropicais, propomos um sistema de construção pré-fabricado em concreto leve, objetivando racionalizar a sua execução em série através de um compósito alternativo ao concreto tradicional, substituindo o agregado graúdo por Argila Expandida e parte do agregado miúdo por Vermiculita com adição de metacaulim. Testando variações destes componentes em três composições de traços, para obter resistências mecânicas e térmicas compatíveis com o sistema construtivo tradicional de alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto, foram executados inicialmente testes em corpos de provas cilíndricos para escolha do traço mais eficiente para ensaios em paredes protótipos. Os ensaios de resistência mecânica foram realizados de acordo com a NBR 5738 e NBR 5739 comparando valores de massa e suporte de carga axial até o rompimento por compressão. Os ensaios de resistência térmica ao aquecimento e ao resfriamento foram realizados pelo método do Condutímetro K30 e Câmara Térmica (LABEME - UFPB), onde foram simuladas variações de temperaturas para a cidade de João Pessoa PB. Os resultados foram compatíveis aos parâmetros estabelecidos pela NBR 15220-3, 2005, indicando a viabilidade do compósito para moldagem de placas parede para o sistema pré-fabricado proposto.

**Palavras-chave:** Concreto Leve; Resistência; Condutividade Térmica.

### **MECHANICAL AND THERMAL EFFICIENCY OF STRUCTURAL WRAPS IN LIGHT COMPOSITE FOR PREFABRICATION OF POPULAR HOUSE.**

#### **ABSTRACT**

In order to contribute to the improvement of the construction systems of popular houses in tropical regions, we propose a prefabricated construction system in light concrete, with the purpose of rationalizing its execution in series through an alternative composite to the traditional concrete, replacing the large aggregate with Expanded Clay and part of the kid's aggregate by Vermiculite with addition of Metaculin. By testing variations of these components in three trace compositions, to obtain mechanical and thermal resistances compatible with the traditional constructional system of masonry of ceramic blocks or concrete, tests were performed initially on cylindrical test bodies to choose the most efficient trait for tests on walls prototypes. The mechanical strength tests were performed according to NBR 5738 and NBR 5739 comparing mass values and axial load support until compression rupture. The tests of thermal resistance to heating and cooling were carried out using the K30 Conductivity Meter and Thermal Chamber (LABEME - UFPB), where temperature variations were simulated for the city of. The results were compatible with the parameters established by NBR 15220-3, 2005, indicating the feasibility of the composite for wall plate molding for the proposed prefabricated system.

**Keywords:** Lightweight Concrete; Resistance; Thermal Conductivity.

#### **1. INTRODUÇÃO**

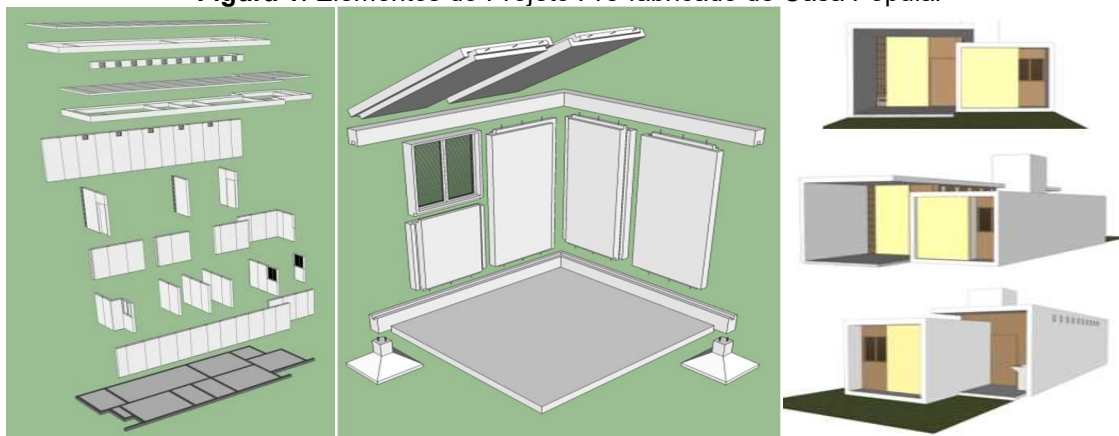
O persistente problema habitacional popular brasileiro desperta para a necessidade de pesquisas de métodos construtivos mais eficientes que os tradicionais sistemas de alvenarias de blocos

cerâmicos ou de concreto que geram desperdícios de tempo e resíduos de materiais. Nesse contexto os sistemas de construção pré-fabricada de concreto conquistam progressivamente o interesse das construtoras que atuam nesse mercado, pela possibilidade de produção em larga escala com rapidez e economia, mas também encontra restrições devido às características do material que gera painéis pesados e de baixa eficiência térmica que exigem tecnologias operacionais e corretivas complexas. Procurando respostas viáveis para essa problemática foi desenvolvido um projeto de casa popular pré-fabricada para investigação de uma dosagem alternativa para um compósito de concreto leve, a partir da análise das propriedades de materiais correlatos para substituir ou complementar os elementos básicos do concreto (areia e brita granítica), maiores responsáveis pela massa e densidade do material.

A redução do massa das peças pré-fabricadas de concreto para o uso como vedação autoportante prevista segue estudos de soluções compensatórias, onde a substituição total do agregado graúdo e parcial do agregado miúdo foi efetivada por componentes opcionais mais leves que provocaram a redução da massa específica do compósito, mantendo sua resistência mecânica e térmica compatíveis com a da alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto. Segundo (ROSSIGNOLO; AGNESINI, 2005 e ALMEIDA, 1996) estas substituições dos agregados para obtenção de concretos leves apontam para o uso de argilas expandidas e materiais porosos como a vermiculita, que contribuem para a redução da massa e da condutividade térmica do concreto, mas em contrapartida também diminuem a sua resistência mecânica e estanqueidade. Uma alternativa indicada por esses autores para a correção destas deficiências é a inclusão, no compósito, de aditivos pozolânicos como o metacaulim que apresenta, em concretos de alto desempenho, propriedades potencializadoras destas características afetadas.

Diante destes conceitos abordados, adotamos estes materiais indicados para investigação de possíveis composições do concreto leve com características adequadas a confecção dos componentes de construção pré-fabricado projetados na primeira fase da pesquisa (Figura 1).

**Figura 1.** Elementos do Projeto Pré-fabricado de Casa Popular



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tomando os painéis de vedações verticais como elemento de base investigativa para a viabilidade do projeto da casa pré-fabricada, onde de acordo com Lamberts et al. (2010), são os painéis que preenchem os espaços entre os elementos estruturais com o objetivo de delimitar os ambientes internos e o seu perímetro externo, oferecendo segurança e resistências às intempéries e aos distúrbios ambientais, para o correto funcionamento das atividades abrigadas. Esse conceito é ampliado na arquitetura bioclimática, onde os objetivos de conforto térmico, lumínico e acústico transcendem a simples escolha de materiais compatíveis, sendo incorporados às exigências de sustentabilidade do processo construtivo empregado. Assim as relações de consumo energético, conservação e danos ao meio ambiente causado por resíduos influem na adoção dos materiais e técnicas construtivas para promover as vedações das edificações bioclimáticas requisitando eficiência ambiental e térmica os seus elementos em relação aos resíduos de construção, ganho e perda de calor nos ambientes.

O processo de transferência térmica por incidência solar em um painel de vedação recai sobre vários fatores como: a composição do material, cor, camadas, espessura, orientação da exposição solar e do regime da ventilação dominante no local. Os materiais porosos (argilas expandidas, compósitos de polímeros termoplásticos, vermiculita, etc.), que incorporam vazios na sua constituição oferecem maior resistência à transferência de calor devido a sua descontinuidade física e as células de ar que incorpora.

No cálculo da eficiência térmica de uma vedação arquitetônica projetada para um clima tropical com elevada temperatura diurna e baixa temperatura noturna, procura-se retardar o aquecimento das vedações, evitando que o ambiente interno absorva calor excessivo durante o dia e mantenha-se ameno durante a noite. Esse controle das transferências térmicas pode ser obtido através de técnicas projetivas adaptadas ao clima local e da especificação adequada dos materiais e componentes construtivos da edificação (LAMBERTS et al., 2010).

A eficiência térmica dos compósitos leves foi atribuída ao uso de materiais porosos para substituição dos agregados ou adicionados às misturas. Assim foram feitas suas caracterizações e testes para posterior aplicação no projeto da casa popular.

## 2. OBJETIVO

Com o objetivo de viabilizar a confecção de painéis envoltórios estruturais de concreto leve para a construção de projeto de casa popular pré-fabricada, esse estudo demonstra o processo de caracterização de um compósito alternativo leve testando suas características de massa, resistência mecânica e térmica com a obtenção de valores que compatibilizam esse material com os valores dessas variáveis no tradicional processo construtivo de paredes de blocos cerâmicos.

## 3. METODOLOGIA

O concreto leve é normatizado pela ABNT na NBR 12644:2014 - Concreto leve celular estrutural, que determina a densidade de massa aparente no estado fresco, e revisa a norma ABNT NBR 12644:1992, elaborada pelo Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregado (ABNT/CB-018). A caracterização do concreto leve é obtida através da substituição de agregados e adições de materiais que reduzam sua massa específica a valores entre  $300 \text{ kg/m}^3$  a  $2000 \text{ kg/m}^3$ , produzindo vazios intersticiais aerados com propriedades refratárias e de isolamento térmico, conservando as propriedades de resistência e coesão. (NEVILLE, 1997).

Segundo o ACI 213R-87, o concreto leve definido nessa pesquisa como material adequado ao sistema construtivo pré-fabricado deve ter características estruturais com resistência à compressão entre 17 Mpa e 17,5 Mpa com massa específica inferior a  $1850 \text{ Kg/m}^3$  em um período de secagem de 28 dias (ACI, 1999). Estabelecendo como referência a NBR NM 35 (ABNT, 1995) que determina uma relação entre resistência à compressão e massa específica para concretos leves estruturais, conforme a Tabela 1:

**Tabela 1.** Valores de resistência à compressão e massa específica de concretos leves estruturais (NBR NM 35) Resistência à compressão (Mpa aos 28 dias)

Resistência à compressão (Mpa 28 dias)	Massa específica aparente ( $\text{kg/m}^3$ )
$\geq 28$	$\geq 1840$
$\geq 21$	$\geq 1760$
$\geq 17$	$\geq 1680$

Fonte: NBR NM 35, 1985.

### 3.1 Ensaio de Caracterização, massa e resistência do compósito

Tendo como base esses parâmetros para o concreto leve estrutural optamos por testar a substituição total dos agregados graúdos por um material cerâmico mais leve, com propriedades termo acústica comprovada e de fácil acesso no mercado local. Sendo escolhida a argila expandida Cinexpan 2215 com as seguintes especificações descritas na Tabela 2.

A Argila Expandida Cinexpan é um agregado leve e isolante constituído de uma crosta microporosa rígida e de alta resistência, com o interior formado por uma massa cerâmica porosa. O processo é realizado em forno rotativo de alta tecnologia a uma temperatura de  $1.100 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Densidade aparente: 500 kg/m<sup>3</sup> - onde pode haver uma variação de + /- 10 %. (cada 20 sacos formam 1 m<sup>3</sup>, ou seja cada saco pesa em média 25,0 kg, variando + /- 10 % ). Resistência mecânica: 150 kg/cm<sup>2</sup> para atender qualquer necessidade. Consistência: Agregado nodulizado de argila. Inércia química: Absolutamente inerte. Isolamento térmico: Densidade 1,0 t/m<sup>3</sup> obtemos  $\lambda = 0,25$  Kcal/mh°C. Isolamento acústico: Pode chegar a uma redução média de 44 DB. Análise Química: o Perda ao fogo 06,8% o Silício (em SiO<sub>2</sub>) 52,9% o Alumínio (em Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 18,9% o Ferro (em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 11,1% o Titânio (em TiO<sub>2</sub>) 0,88% o Cálcio (em CaO) 0,09% o Magnésio (em MgO) 3,44% o Sódio (em Na<sub>2</sub>O) 0,22% o Potássio (em K<sub>2</sub>O) 05,5% (CINEXPAN, 2010).

**Tabela 2.** Granulometria e especificações técnicas da Argila Expandida Cinexpan 2215

Classes granulométricas nominais - Cinexpan 2215					
Classes granulométricas Nominais	3222	2215	1506	0500	LAM. 2,5
Resistência compressão (Mpa)	6	8	12	20	<2
Massa volumétrica seca (kg/m <sup>3</sup> )	450	500	600	850	750
Classes granulométricas (mm)	22 - 32	15 - 22	6 - 15	0 - 5	0 - 25
Condutibilidade térmica (kcal/(hmoC))	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Absorção água por imersão (% 24h)	10	10	7	6	101
Resistência ao fogo	Incombustível: classe MO				
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	0,56	0,64	1,11	1,4	1,51
Variações/ ambientes seco/úmido	Material não higroscópico				

Fonte: CINEXPAN, 2010.

A areia natural selecionada como agregado miúdo para a usinagem do compósito leve proposto nessa pesquisa foi a areia de Castitú, extraída do leito do Rio Paraíba PB e de fácil aquisição no mercado local. Para a elaboração dos ensaios de pesagem, absorção e granulometria, a areia foi selecionada segundo a NBR 7211 - Agregado Miúdo, em amostra aleatória foi submetida a um melhoramento por peneiramento em peneiras normatizadas # 6,35mm, onde foi obtida a massa unitária média de 1.49 Km/dm<sup>3</sup>.

Com o objetivo de se obter maior leveza e potencializar as propriedades isolantes térmicas dos elementos pré-fabricados pretendidos foi utilizado como aditivo ao agregado fino a vermiculita, beneficiada pela indústria local Soleminas, com especificações definidas na Tabela 3 abaixo. Em seu estado natural esse minério é bastante encontrado no estado da Paraíba PB, contribuindo significativamente para a busca por redução na massa final das peças pré-fabricadas e a consequente trabalhabilidade do compósito testado para execução futura do sistema construtivo pré-fabricado.

**Tabela 3.** Especificações Técnicas da Vermiculita Soleminas

Fórmula Química	(Mg,Ca)0.7(Mg,Fe,Al)6.0[(Al,Si)8°20)](OH)4.8H <sub>2</sub> O
Composição	14,39% MgO, 43,48% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 12,82% FeO, 11,92 % SiO <sub>2</sub> , 17,87% H <sub>2</sub> O
Cristalografia	Monoclínico
Propriedades Ópticas	Biaxial negativo
Classe	Prismática
Hábito	Micáceo
Clivagem	Perfeita {001}
Dureza	1,5 – 2
Densidade relativa	2 – 3

Fonte: <https://ntcbrasil.com.br/> (Acesso 1/2017)

O cimento aglomerante escolhido para os testes de usinagem do concreto leve foi o CPV ARI parametrizado conforme a NBR 5733, com propriedades indicadas para a confecção de pré-moldados, com alta resistência inicial, podendo chegar a 30 Mpa de resistência a compressão em apenas um dia de concretagem. A resistência desse tipo de cimento continua aumentando até o 28º dia, possibilitando maior rendimento ao concreto, permitindo uma desforma rápida dos elementos pré-fabricados e uma superfície polida apropriada para concretos aparentes.

A metacaulinita é um material obtido da argila caulinitica através da queima a temperaturas de 700° a 900 que provoca alterações em suas propriedades físicas e químicas. Pode ser utilizada como aditivo ou substituição parcial de cimento Portland que possibilita a obtenção de argamassas e concretos de alto desempenho. Segundo (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. 1989) a metacaulinita vem sendo bastante utilizada no Brasil como aditivo potencializador do concreto de alto desempenho, indicando a sua participação na composição do concreto leve pretendido para contribuir no aumento da resistência mecânica e das propriedades térmicas do produto final. O uso da metacaulinita nessa pesquisa seguiu as normas da ABNT NBR 15894-1/2010.

De acordo com as normas da ABNT já citadas e com os parâmetros técnicos de cada elemento definido, foram realizados ensaios laboratoriais no LABEME - Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental DECA da Universidade Federal da Paraíba para a caracterização de cada material componente dos traços para a obtenção do concreto leve pretendido. Seguindo-se a usinagem dos materiais em betoneira convencional e moldagem dos corpos de prova em formas cilíndricas de ferro galvanizado (4"x 25,5"). Com desmolde sem quebras aos 28 dias de cura. Também foi moldado um corpo de prova com um traço convencional piloto estabelecido como referência (Tabela 4) abaixo.

**Tabela 4.** Composição do piloto e ensaio de massa e resistência mecânica.

Traço	Cimento	Areia	Gnaisse	Água	Massa (Kg)	Resistência (MPa)
Piloto	1	1,42	1,66	1,00	3,70	25,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Na sequência as três séries de traços com três corpos de provas cada, foram testadas quanto ao massa e a resistência à compressão em 28 dias (Figura 2).

**Figura 2.** Fotos do processo de desmolde, pesagem e teste de compressão dos corpos de prova.



Fonte: Elaborados pelo autor, 2018.

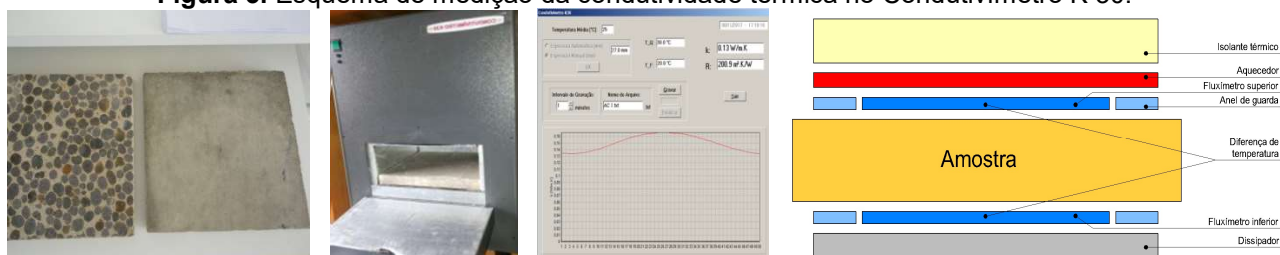
### 3.1 Ensaios de avaliação térmica do compósito

Utilizando os compósitos caracterizados nos traços 1, 2, 3 foram moldadas três series de três placas com as dimensões 30x 30 x 2.7cm que foram submetidas a testes de resistências térmicas pelo Método Fluximétrico, simulando as variações térmicas da cidade de João Pessoa PB, no Condutivímetro K 30 do LABEME – UFPB, equipamento indicado pela NBR 15220, 2005 para medição da resistência e condutividade térmica através da simulação de uma diferença de temperatura entre as laterais maiores das placas planas testadas medindo o fluxo de calor que passa através da amostra (Figura 2). Os valores das medidas da condutividade e resistência térmica são fornecidos pelo programa de aquisição de dados do equipamento (Figura 33), no qual os valores da resistência térmica R decorrem da equação Fourier, onde R é a resistência térmica (m<sup>2</sup> K/W), q é o fluxo de calor médio medido pelos fluxímetros superior e inferior (W) e T1 e T2 são as temperaturas médias nas superfícies das amostras. Assim a condutividade térmica foi calculada pela seguinte equação 3.3 para condutividade térmica do material (k).

$$K = \frac{L}{R} \quad (3.1)$$

Sendo λ a condutividade térmica (W/m.K) e L é a espessura da amostra (m). Sendo obtidos os seguintes resultados para aquecimento e resfriamento (Tabela 9):

**Figura 3.** Esquema de medição da condutividade térmica no Condutímetro K 30.



Fonte: Manual do Condutímetro K 30, 2011 adaptado pelo autor 2018.

Diante dos indicativos positivos dos testes anteriores foram feitas moldagens, com os três traços do compósito já caracterizado, de três de paredes protótipos (módulo Janela do projeto, Figura 1.) nas dimensões 0,60 x 120 x 0,12 m para ensaios na câmara térmica do LABEME. O procedimento de usinagem do compósito seguiu as normas da NBR 5738: 2016 com preenchimento vibrado em forma apoiada na mesa vibratória do LABEME, sendo submetidas à cura de 28 dias com desmoldagem natural sem quebra de bordas conforme ilustrado na Figura 3.

**Figura 4.** Usinagem das paredes protótipos.



Fonte: Imagens elaboradas pelo autor, 2018.

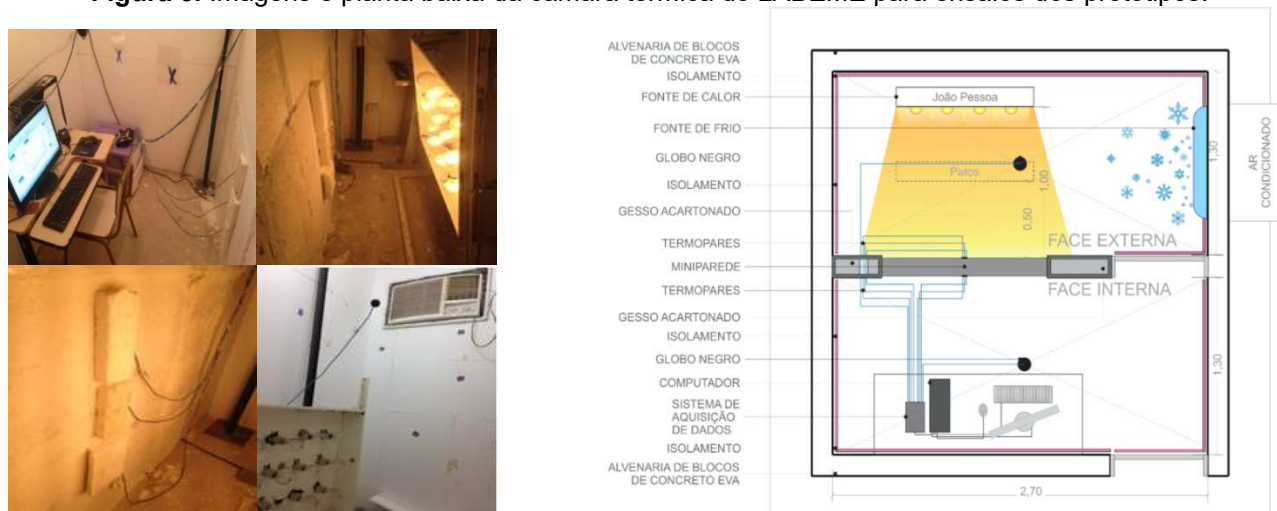
Os ensaios na câmara térmica do LABEME foram realizados com o objetivo de simular a transferência de calor incidente em um protótipo de parede pré-fabricada para um ambiente interno da edificação proposta. Através desse equipamento composto por uma edificação (3,00m x 2,90m x 2,60m) termicamente isolada e dividida internamente em dois compartimentos (1,30m x 2,70m) contendo no primeiro o sistema de aquisição de dados (DAQ) Quantum X Universal ligados a termopares que captam a variação térmica do ambiente interno e da superfície interna da parede teste colocada em uma abertura da parede divisória para o segundo compartimento, que simula o ambiente externo exposto a variações de temperaturas e contém os equipamentos de aquecimento (caixa metálica com 12 lâmpadas de 150 W) e o de resfriamento (ar-condicionado de 15.000 BTU), que são ativados separadamente em dois ciclos de 8h para simular respectivamente o período de aquecimento (dia) e resfriamento (noite). As captações destas temperaturas dos compartimentos que simulam os ambientes, externo e interno respectivamente foram medidas por um termômetro (corpo negro) instalado no centro volumétrico de cada compartimento onde a temperatura das faces externa e interna de cada parede teste também foi captada por três termopares conectados ao sistema de aquisição de dados, conforme ilustrado na Figura 5.

Para a realização dos ensaios foram utilizados os parâmetros de calibração e ajustes da câmara térmica fornecido por pesquisa em curso realizada no LABEME (Gomes, 2015).

O experimento com a câmara térmica foi iniciado com a colocação da parede protótipo curada e devidamente pintada com tinta PVA branca no compartimento divisório com a fixação dos termopares em ambas as laterais conforme indicado no manual de procedimentos da Câmara, sendo feita a devida vedação dos vazios e proteção dos termopares com placas de EVA e massa corrida, conforme ilustrado na Figura 3. Após a secagem da massa iniciou-se o ciclo de aquecimento de 8h através do posicionamento da caixa de lâmpadas a uma distância predeterminada de 1,00m, para simulações de temperaturas da cidade de João Pessoa PB. Ao término do ciclo de 8h determinado para o aquecimento, foi desligada a caixa de luz e ligado o ar-condicionado para iniciar o ciclo de resfriamento, também com 8h de duração.



Figura 5. Imagens e planta baixa da câmara térmica do LABEME para ensaios dos protótipos.



Fonte: Imagens e esquema da câmara térmica elaboradas pelo autor.

Assim de acordo com esse o arranjo experimental foi simulada e comparada as variações térmicas obtidas em uma parede de blocos cerâmicos e nas três paredes de vedação moldadas com o compósito, durante um ciclo térmico contínuo de 16h, com 8h de aquecimento e 8h de resfriamento. Foram coletadas simultaneamente as medidas de temperatura internas e externas a cada segundo pelo sistema de aquisição de dados DAQ Quantum X Universal e condensadas em valores médios de pico por hora para cada ciclo de 8h, sendo anotadas em gráficos e tabelas comparativas. Os valores anotados identificaram os picos de temperatura em cada ambiente e a consequente diferença térmica foi compatível com os valores alcançados nos testes da parede de blocos cerâmicos. Os resultados dos ensaios indicaram o potencial de isolamento térmico do compósito testado.

#### 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos agregados para elaboração do compósito indicaram a viabilidade desse material para elaboração de traços para moldagem de paredes de vedação mais leves tanto para o sistema de construção pré-fabricada como envoltório alternativo ao sistema tradicional de blocos cerâmicos, sendo observados valores de massa 59% mais leve que o concreto tradicional moldado com o traço piloto fornecido pelo LABEME.

Comparando os valores de massa e resistência obtidos nos ensaios de resistência realizados para as séries de traços propostos na metodologia com os valores do traço piloto, conforme pode ser observado na tabela 5 ficou evidente que, mesmo com pequenas variações, os valores obtidos ficaram na faixa de compatibilidade do compósito como opção para a construção de vedações leves em substituição às paredes de blocos cerâmicos.

Tabela 5. Composição dos traços e ensaios de massa e resistência mecânica.

Traço	Cimento	Areia	Argila Expand.	Água	Metacaul	Vermicul.	Bautech	Massa Kg			Resistência MPa		
								CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
01	1,00	1,42	1,66	1,00	10%	5%	0,6%	2,20	2,23	2,21	11,78	11,58	11,95
02	1,00	2,02	1,37	0,92	8,50%	8,50%	3,54%	2,27	2,24	2,25	14,70	13,82	13,89
03	1,00	1,67	1,00	1,00	10%	10%	1,25	2,18	2,21	2,19	11,20	11,45	11,42
Piloto	1,00	1,42	1,66	1,00	-	-							
Alvenaria de Blocos Cerâmicos											3,70		25,00
											2,20		3,50

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Resumindo os resultados da tabela 5 de massa e resistência obtidas para o compósito leve com os do traço piloto e indicativos da Alvenaria Tradicional de blocos cerâmicos fornecidos pelo

LABEME na Tabela 6 abaixo, ficou evidente a leveza com 59% mais leve que o traço Piloto e 2% mais leve que a alvenaria de blocos cerâmicos com resistência 31,25% maior, confirmando assim a viabilidade do material para moldagem de placas e paredes protótipos para os seqüentes ensaios térmicos.

**Tabela 6.** Resumo comparativo dos ensaios de massa e resistência mecânica.

AMOSTRA	MASSA Kg /m <sup>3</sup>	Resistência MPa
Compósito Piloto	3,70	25,00
Alvenaria de Blocos Cerâmicos	2,20	3,50
Compósito Leve	2,18	11,20

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

#### 4.1 Avaliação das características térmicas do compósito cimentício.

Os resultados iniciais dos ensaios de condutividade térmica foram obtidos pelo método do condutímetro K 30 onde de acordo com os gráficos abaixo, foram testadas as três série de corpos de prova e confirmando que as amostras executadas com o traço 3 obtiveram os melhores resultados de desempenhos térmico, verificando que as diferenças entre as temperaturas quente (T<sub>Q</sub>) fornecida à amostra e temperatura fria (T<sub>F</sub>) na superfície oposta a fonte de calor foi de 10°C que habilita o compósito como material isolante térmico apropriado para o sistema pré-fabricado. Os testes dos protótipos de paredes 01, 02, e 03 na câmara térmica do LABEME calibrada para a amplitude térmica de João Pessoa, com os resultados descritos em curvas de aquecimento e resfriamento anotados nas tabelas comparativas 7, 8, e 9 mostram o comportamento térmico das paredes protótipos no ciclo térmico contínuo de 16 h que simula o aquecimento durante 8h (dia) e resfriamento 8h (noite), onde a maior diferença de temperatura entre os ambientes externo e interno está na parede 03 comparada a de blocos cerâmicos.

**Tabela 7.** Composição do traço 01, ensaios de massa, resistência mecânica e ciclo térmico

TRAÇO 01	Cimento	Areia	Argila exp.	Água	Metacaulim	Vermiculita	Suplast.Bauthec					
	1	1,42	1,66	1	10%	5%	6%					
Massa kg/ tensão Mpa (cura aos 28 dias)	Corpo de prova: CP1		Corpo de prova: CP2		Corpo de prova: CP3							
	2,18	11,2	2,21	11,45	2,19	11,42						
Ciclos térmicos: paredes de concreto. (câmara térmica)	PAREDE DE CONCRETO LEVE 01											
	Temp. Face interna			Temp. Ar interno (globo negro)			Temp. Face externa			Temp. Ar externo (globo negro)		
	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF
	26,0	28,0	26,5	26,0	27,8	26,0	26,0	31,8	24,8°	26,0	45,5	16,5
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	C	°C	°C	°C

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

**Tabela 8.** Composição do traço 02, ensaios de massa resistência mecânica e ciclo térmico

TRAÇO 02	Cimento	Areia	Argila exp.	Água	Metacaulim	Vermiculita	Suplast.Bauthec					
	1	1,42	1,66	1	10%	5%	6%					
Massa kg/ tensão Mpa (cura aos 28 dias)	Corpo de prova: CP1		Corpo de prova: CP2		Corpo de prova: CP3							
	2,18	11,2	2,21	11,45	2,19	11,42						
Ciclos térmicos: paredes de concreto. (câmara térmica)	PAREDE DE CONCRETO LEVE 02											
	Temp. Face interna			Temp. Ar interno (globo negro)			Temp. Face externa			Temp. Ar externo (globo negro)		
	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF
	26,0	28,3	26,2	26,0	28,0	25,7	26,0	31,3	24,5	26,0	46,5	18,2
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.



**Tabela 9.** Composição do traço 03, ensaios de massa, resistência mecânica e ciclo térmico.

TRAÇO 03	Cimento	Areia	Argila exp.	Água	Metacaulim	Vermiculita	Suplastific. Bauthe c					
	1	1,42	1,66	1	10%	5%	6%					
Massa kg/ tensão Mpa (cura aos 28 dias)	Corpo de prova: CP1			Corpo de prova: CP2			Corpo de prova: CP3					
	2,18	11,2	2,21	11,45	2,19	11,42						
Ciclos térmicos: paredes de concreto. (câmara térmica)	<b>PAREDE DE CONCRETO LEVE 03</b>											
	Temp. Face interna			Temp. Ar interno (globo negro)			Temp. Face externa			Temp. Ar externo (globo negro)		
	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF
	26,0 °C	27,5 °C	26,5 °C	26,0 °C	27,0 °C	26,5 °C	26,0 °C	30,5 °C	25,5 °C	26,0 °C	45,3 °C	17,5 °C

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A compilação das tabelas com os valores obtidos dos ensaios das paredes protótipos na câmara térmica do LABEME, comparados aos testes de condutividade e resistência térmica realizados do teste do Condutímetro K 30, mostraram resultados aproximados nas três séries de corpos de provas ensaiados, observando valores mais eficientes na a série do traço 3 (Tabela 10) como a mais eficiente para os valores de referência da parede de blocos cerâmicos ensaiada por Gomes (2015).

**Tabela 10.** Composição traço 03 e ensaios de massa e resistência mecânica e eficiência térmica.

TRAÇO 03	Cimento	Areia	Argila exp.	Água	Metacaulim	Vermiculita	Suplast. Bauthe c					
	1	1,42	1,66	1	10%	5%	6%					
Massa kg/ tensão Mpa (cura aos 28 dias)	<b>Corpo de prova: CP1</b>			<b>Corpo de prova: CP2</b>			<b>Corpo de prova: CP3</b>					
	2,18	11,2	2,21	11,45	2,19	11,42						
condutividade fio quente (tamb=26,0°C)	T-Q	T-F	K (W/Mk)	R (m².K/W)	T-Q	T-F	K (W/Mk)	R (m².K/W)	T-Q	T-F	K (W/Mk)	R (m².K/W)
	40,2 °C	29,5 °C	0,16	174,9	40,7 °C	30,4 °C	0,16	172,2	41,0 °C	30,1 °C	0,16	159,7
condutividade e resistência térmica: condutímetro k30. (temperatura média =25°C)	T-Q	T-F	K (W/Mk)	R (m².K/W)	T-Q	T-F	K (W/Mk)	R (m².K/W)	T-Q	T-F	K (W/Mk)	R (m².K/W)
	28,0 °C	18,9 °C	0,17	163,1	29,97 °C	19,98	0,16	165,7	29,95 °C	19,9 °C	0,16	161,5
ciclos térmicos: paredes de concreto. (câmara térmica)	<b>PAREDE DE CONCRETO LEVE 03</b>											
	temp. face interna			temp. ar interno (globo negro)			temp. face externa			temp. ar externo (globo negro)		
	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF
	26,0 °C	27,5 °C	26,5 °C	26,0 °C	27,0 °C	26,5 °C	26,0 °C	30,5 °C	25,5 °C	26,0 °C	45,3 °C	17,5 °C
ciclos térmicos: paredes de concreto. (câmara térmica)	<b>PAREDE DE BLOCOS CERÂMICOS (Referência)</b>											
	temp. face interna			temp. ar interno (globo negro)			temp. face externa			temp. ar externo (globo negro)		
	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF	TA	TQ	TF
	26,0 °C	31,0 °C	27,0 °C	26,0 °C	30,0 °C	28,0 °C	26,0 °C	34,0 °C	24,0 °C	26,0 °C	53,0 °C	16,0 °C

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018

Concluídas as séries de ensaios de resistência mecânica e térmica ficou evidente nos resultados da tabela 10 que a parede 03 moldada com o compósito definido no traço 03, reúne estas propriedades compatíveis com o desenvolvimento do processo construtivo pré-fabricado.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados alcançados na pesquisa dos conteúdos teóricos e ensaios técnicos convergiram para trazer respostas aos objetivos propostos na pesquisa, confirmando a pertinência das propriedades de massa, resistência mecânica e térmica do compósito para moldagem de painéis de vedação do sistema de construção pré-fabricado em substituição ao sistema de construção tradicional de blocos cerâmicos.

Inicialmente a revisão bibliográfica indicou a supremacia do sistema pré-fabricado abordando aspectos de sustentabilidade na eficiência quanto ao desperdício e geração de detritos.

Quanto aos resultados dos testes de massa do compósito cimentício leve foram observadas pequenas diferenças de valores entre as amostras das três séries referentes a cada traço ensaiado. Esse fato foi atribuído a pequenas variações de adensamento ocorridas no preenchimento dos corpos de prova. A diferença de massa entre os três valores de pico obtidos para as três séries de amostras apresentou valores menores quando foi aumentada a porcentagem de vermiculita. O limite de 10% na substituição do agregado miúdo pela vermiculita foi estabelecido devido ao efeito de flutuação do agregado graúdo ocorrido nos ensaios de preenchimento de placas e corpos de provas. De acordo com os valores obtidos foi verificada uma redução máxima de 59% do valor de referência para o corpo de prova do traço Piloto.

Nos ensaios de resistência a compressão aos 28 dias de idade do compósito também houve variações de valores de tensão entre as três amostras de cada traço compatíveis com as variações de massa. Os menores resultados de resistência foram verificados nas amostras do traço 03 com maior porcentagem de vermiculita (10%) apresentando um valor de pico (46%) menor que valor de referência para o corpo de prova do traço Piloto. Mas esse valor demonstra eficiência na resistência a compressão de 39% e relação a alvenaria de blocos cerâmicos.

Os ensaios de eficiência térmica (Conduvímeter K 30 e câmara térmica) também evidenciam a série do traço 03 com resultado de 4°C de eficiência em relação a parede de alvenaria de blocos cerâmicos, indicando a viabilidade do compósito leve para a usinagem do sistema pré-fabricado proposto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 213R-87: guide for structural lightweight aggregate concrete. Farmington Hills, USA, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 35: Agregados leves para concreto estrutural - Especificação. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12644: Concreto leve celular estrutural - Determinação da densidade de massa aparente no estado fresco Rio de Janeiro , 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação Rio de Janeiro, 2005.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, EneDir; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. Casa Eficiente: Simulação Computacional Do Desempenho Termo-Energético. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010.

NEVILLE, Adam. Propriedades do concreto. 2ª ed. São Paulo, Pini, 1997.

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