



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ÁDINA ÉRICA MELO DE SOUSA

**ESTUDO TÉRMICO E MECÂNICO DE PLACAS CIMENTÍCIAS DE
REVESTIMENTO UTILIZANDO VERMICULITA EXPANDIDA**

MOSSORÓ-RN

2017

ÁDNA ÉRICA MELO DE SOUSA

**ESTUDO TÉRMICO E MECÂNICO DE PLACAS CIMENTÍCIAS DE
REVESTIMENTO UTILIZANDO VERMICULITA EXPANDIDA**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Kleber Cavalcanti Cabral, Prof.
Dr.

MOSSORÓ-RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S725e Sousa, Ádna Érica Melo de.
Estudo térmico e mecânico de placas cimentícias
de revestimento utilizando vermiculita expandida
/ Ádna Érica Melo de Sousa. - 2017.
69 f. : il.

Orientador: Kleber Cavalcanti Cabral.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2017.

1. Desempenho térmico. 2. Propriedades
mecânicas. 3. Materiais compósitos. 4. Agregado
leve. I. Cabral, Kleber Cavalcanti, orient. II.
Título.

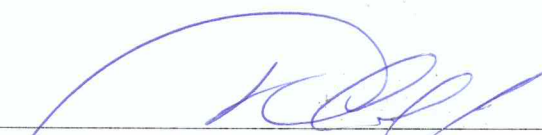
ÁDNA ÉRICA MELO DE SOUSA

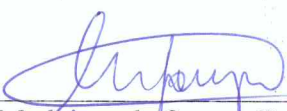
**ESTUDO TÉRMICO E MECÂNICO DE PLACAS CIMENTÍCIAS DE
REVESTIMENTO UTILIZANDO VERMICULITA EXPANDIDA**

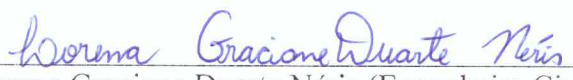
Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 11 / 10 / 2017.

BANCA EXAMINADORA


Kleber Cavalcanti Cabral, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente


Wendell Rossine Medeiros de Souza, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador


Lorena Graciane Duarte Nêris (Engenheira Civil)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela presença indispensável em todos os momentos da minha vida, e por ter me dado as ferramentas necessárias para a concretização desse objetivo.

À minha mãe, Maria de Fátima Melo, pelo amor incondicional, por toda dedicação e pela assistência sem a qual não seria possível concluir esta etapa da minha vida.

À minha família, pelo suporte emocional a mim concedido, em especial, à minha irmã, Adina Ávila Melo de Sousa Medeiros, ao meu cunhado, Jorge Eduardo de Medeiros Lopes, e às minhas tias, Antônia Izidoria e Lúcia Isidoria.

Aos meus amados sobrinhos, Vitor Eduardo e Igor Eduardo, por propiciarem um brilho especial aos meus dias.

Ao meu namorado, Kristy Emanuel, pelo apoio prestado nos momentos difíceis, pela companhia e pelo carinho que sempre alimentou a alma para dar o melhor de mim nessa batalha.

Aos meus amigos, Arthur Leocádio, Gislayne Célide, Yngrid Raphaele, Franklin Queiroz, Elizandra André, Valteson Santos, Jociana Mísia, Daniela Fernandes e Lylyane Andrade, fiéis escudeiros ao longo dessa jornada, insubstituíveis parceiros de conversas, lamentações e risadas.

Aos meus mais recentes amigos do Campus Angicos, meus companheiros de estudo e trabalhos acadêmicos, que compartilharam comigo dos momentos de estresse pré-prova e dos momentos de descontração.

Àqueles professores que fizeram a diferença, os que souberam ser mestres em ministrar aulas e, ao mesmo tempo, foram capazes de impulsionar os alunos para a busca do sucesso.

Ao meu orientador, Prof. Kleber Cavalcanti Cabral, pela disposição em me auxiliar nesta etapa fundamental do curso.

A todos os funcionários da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, que conjuntamente, tornam possível uma boa convivência acadêmica.

Às demais pessoas não citadas, que, direta ou indiretamente, fazem parte da minha história, contribuíram para que este objetivo se concretizasse e torcem pela minha realização acadêmica e profissional.

Sorte é o nome que os desocupados dão ao esforço alheio. A minha “sorte” foi passar madrugadas estudando...

Leandro Karnal

RESUMO

Tendo em vista que o problema do déficit de moradias é uma realidade presente em geral para as famílias de baixa renda, torna-se oportuno descobrir formas alternativas da construção de casas populares, com o intuito de melhorar suas condições de uso, como é o caso do conforto térmico, que está diretamente relacionado com o bem-estar dos usuários. Nessa perspectiva, o presente trabalho tem o intuito de investigar o desempenho térmico de placas cimentícias com a utilização de vermiculita expandida em sua composição, em porcentagens determinadas de 0%, 25%, 50% e 75% de substituição pela argila empregada no traço de referência. Além disso, compete também ao estudo verificar as propriedades mecânicas de resistência à tração na flexão e resistência à compressão das argamassas utilizadas em cada um dos traços. Para analisar o desempenho térmico, foram confeccionados painéis de vedação compostos pelas placas cimentícias produzidas e uma estrutura de madeira. Este ensaio consistiu de um protótipo que simula a irradiação do sol sobre os painéis, avaliando o possível isolamento térmico do ambiente interno em relação ao ambiente externo nas edificações. No caso dos ensaios das propriedades mecânicas, estes foram embasados na NBR 13279: 2005. Os resultados apontam para a melhoria no conforto ambiental propiciada pelo uso das placas com o traço de 50% de substituição da argila pelo agregado leve em estudo e indicam uma diminuição da resistência à tração na flexão e compressão à medida que se aumenta a porcentagem de vermiculita.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Propriedades mecânicas. Materiais compósitos. Agregado leve.

ABSTRACT

As the housing deficit problem is a general present reality for low-income families, it is opportune to find alternative ways of building popular houses, with the aim of improving their conditions of use, such as thermal comfort, which is directly related to the well-being of users. In this perspective, the present work intends to investigate the thermal performance of cement slab with the use of expanded vermiculite in its composition, in certain percentages of 0%, 25%, 50% and 75% of substitution by the clay used in the reference mix proportion. In addition, it is also the task of the study to verify the mechanical properties of tensile strength in flexion and compressive strength of the mortars in each mix proportions. The research offers results from experimental studies preceded by a consistent theoretical foundation. To analyze the thermal performance, sealing panels composed of the produced cementitious plates and a wooden structure were made. This test consisted of a prototype that simulates the irradiation of the sun on the panels, evaluating the possible thermal insulation of the internal environment in relation to the external environment in the buildings. In the case of mechanical properties tests, they were based on NBR 13279:2005. The results point to the improvement in the environmental comfort afforded by the use of the slabs with mix proportion of 50% of clay substitution by the light aggregate under study and indicate a decrease in tensile strength in flexion and compression as the percentage of vermiculite increases.

Keywords: Thermal performance. Mechanical properties. Composite materials. Lightweight aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Duplo painel OSB.	21
Figura 2. Equipamento para moldagem dos corpos de prova.....	37
Figura 3. Cimento CP II - Z - 32.	39
Figura 4. Argila.	39
Figura 5. Vermiculita expandida utilizada.	40
Figura 6. Provetas utilizadas.....	42
Figura 7. Fôrmas de madeira utilizadas.....	43
Figura 8. Moldagem das placas cimentícias.....	43
Figura 9. Diferentes vistas do painel de vedação de um dos traços.	44
Figura 10. Caixa térmica de isopor utilizada.....	45
Figura 11. Fonte de calor e divisória interna.	45
Figura 12. Posicionamento do painel de vedação no protótipo.....	46
Figura 13. Arduíno com sensores de temperatura.	46
Figura 14. Esquema do posicionamento dos sensores.....	47
Figura 15. Ambiente interno vedado.	47
Figura 16. Moldagem de três corpos de prova para cada traço.	48
Figura 17. Ruptura dos corpos de prova - resistência à tração na flexão.	49
Figura 18. Metades de três corpos de prova após ruptura.	50
Figura 19. Ruptura dos corpos de prova - resistência à compressão.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultados obtidos para o Traço 0%.	51
Gráfico 2. Resultados obtidos para o Traço 25%.	52
Gráfico 3. Resultados obtidos para o Traço 50%.	53
Gráfico 4. Resultados obtidos para o Traço 75%.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exigências granulométricas para agregados miúdos.	24
Tabela 2. Determinação dos traços a serem estudados.....	41
Tabela 3. Quantidade de materiais para cada traço.	42
Tabela 4. Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão.....	55
Tabela 5. Resultados do ensaio de resistência à compressão.	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
3.1 CONSTRUÇÃO DE CASAS POPULARES COM ESTRUTURA DE MADEIRA.....	20
3.2 PLACAS CIMENTÍCIAS	21
3.2.1 Matérias-primas.....	22
3.2.1.1 Cimento Portland.....	22
3.2.1.2 Agregados.....	23
3.2.1.3 Fibras	24
3.2.1.4 Aditivos e adições.....	25
3.2.1.5 Água	26
3.2.2 Processo de produção das placas cimentícias	26
3.2.2.1 Dosagem	26
3.2.2.2 Moldagem.....	27
3.2.2.3 Desmoldagem e cura	27
3.2.3 Placas cimentícias compondo o sistema de vedação.....	28
3.2.4 Normalização	30
3.3 VERMICULITA EXPANDIDA.....	31
3.3.1 Definições e propriedades	31
3.3.2 Produção da vermiculita expandida no brasil	32
3.3.3 Utilização da vermiculita expandida na construção civil.....	32
3.4 DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES.....	33
3.4.1 Propriedades térmicas	34

3.4.2 Transferência de calor	35
3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS	36
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1 MATERIAIS.....	38
4.1.1 Cimento Portland.....	38
4.1.2 Agregado miúdo	39
4.1.3 Vermiculita expandida	40
4.1.4 Água	40
4.2 MÉTODOS	41
4.2.1 Estudo térmico.....	41
4.2.1.1 Produção das argamassas	41
4.2.1.2 Conformação, desmoldagem e cura	42
4.2.1.3 Confeção dos painéis de vedação	44
4.2.1.4 Análise térmica	44
4.2.2 Estudo mecânico	48
4.2.2.1 Moldagem dos corpos de prova.....	48
4.2.2.2 Ensaio de determinação da resistência à tração na flexão	49
4.2.2.3 Ensaio de determinação da resistência à compressão.....	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
5.1 ESTUDO TÉRMICO.....	51
5.1.1 Traço 0%	51
5.1.2 Traço 25%	52
5.1.3 Traço 50%	53
5.1.4 Traço 75%	54
5.2 ESTUDO MECÂNICO	55
5.2.1 Resistência à tração na flexão	55
5.2.2 Resistência à compressão	56

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	59
ANEXO A – RELATÓRIOS GERADOS: RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO	62
ANEXO B – RELATÓRIOS GERADOS: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	66

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, ao observar as grandes cidades brasileiras, nos deparamos com uma paisagem que abriga diversos modos de morar, observa-se desde condições econômicas privilegiadas até as mais miseráveis. Por um lado, o privilégio incorporado pelas estruturas urbanas formais; por outro, a pobreza manifesta nas ocupações informais (NASCIMENTO; BRAGA, 2009).

Conforme um estudo feito pela Fundação Getúlio Vargas, publicado em 2014, estima-se que o Brasil deverá ter, em 2024, 16,8 milhões de novos núcleos familiares, sendo 10 milhões destes com renda entre um e três salários mínimos (FGV PROJETOS, 2014).

Visto isso, se faz oportuno afirmar que a construção de novas unidades familiares é absolutamente necessária. Como o problema do déficit de moradias atinge, em geral, as famílias mais carentes, torna-se evidente a necessidade não apenas de políticas públicas eficazes, como também de formas alternativas de construção dessas unidades.

Nessa perspectiva, o estudo e utilização de novos materiais propicia a resolução de problemas construtivos inerentes à crescente demanda por habitações, possibilitando baratear produtos e/ou serviços, por exemplo, ao aliar as vantagens de materiais alternativos aos materiais convencionais, bem como combinar técnicas “antigas” com novas tecnologias.

Segundo Lopes e Ino (2000), é importante aproveitar o resultado das experiências do passado, comprovado pelo uso e senso comum da população, para melhorar e modernizar técnicas construtivas de tradição secular, por meio da injeção de novas tecnologias, adquiridas pelo conhecimento científico.

Vale ressaltar que a terra é um dos materiais mais abundantes na natureza e pode ser utilizada como matéria-prima de processos construtivos sem causar impactos grandiosos ao meio ambiente. Tem sido usada desde tempos muito remotos, seja para construir moradias, seja para moldar objetos e utensílios domésticos, etc.

De acordo com Heise (2004), a reavaliação do uso da terra como material de construção é de extrema importância frente aos desafios que os países em desenvolvimento vêm enfrentando, notadamente porque uma das principais causas do grande déficit habitacional está diretamente associada à falta de recursos financeiros da população.

Uma das construções de terra mais populares no mundo inteiro é a taipa. Pisani (2004) afirma que, quando protegida contra as intempéries, a construção em taipa possui muita durabilidade, podendo ultrapassar três séculos, como é o caso das casas bandeiristas paulistas. Vários exemplos de construção em taipa de mão, construídos em tempos remotos, persistem

até nossos dias, desafiando às intempéries e ao próprio tempo, demonstrando o potencial de seu uso e sua durabilidade (LOPES; INO, 2000).

Nesse contexto, uma alternativa para as construções em taipa pode ser o uso de placas cimentícias, tendo em vista que as mesmas agregam valor à obra, especialmente em projetos em que há necessidade ou preocupação em otimizar o espaço físico, tempo e qualidade de acabamento. Trata-se de uma alternativa rápida, limpa e econômica para construção civil, que pode ser aplicada em áreas internas e externas, além de suprir algumas restrições de outros materiais quanto ao uso em áreas molhadas.

Conforme afirmado por Souza (2016), ao longo da história, as culturas desenvolveram suas próprias estratégias para a obtenção de conforto ambiental e os contatos interculturais possibilitaram a assimilação de outras ideias com o mesmo fim. Compreender as técnicas e processos construtivos dos antepassados e sua evolução tecnológica histórica são caminhos para a inovação (MAIA; ANDRADE; FARIA, 2016).

Na busca por melhorias nas propriedades térmicas, alguns materiais são apontados na literatura como isolantes térmicos e podem ser incorporadas às placas cimentícias. Um deles é a vermiculita, um argilomineral da família das micáceas, encontrada em abundância no Brasil e que, segundo Ugarte, Sampaio e França (2005), tem sido utilizada na sua forma expandida na construção civil, mais especificamente na confecção de argamassas e concretos para isolamento térmico e acústico.

Normalmente, segundo Sousa (2010), produzem-se blocos pré-fabricados com a incorporação da vermiculita expandida, bem como concretos leves para isolamentos térmicos, ou ainda argamassas para aplicação em pavimentos com o fim de otimizar o isolamento acústico e diminuir o peso próprio da laje.

O mineral comercializado na forma expandida apresenta propriedades como baixos valores de massa específica aparente e de condutividade térmica (UGARTE, SAMPAIO e FRANÇA, 2005). A aplicação depende ainda da sua granulometria e pureza, sendo comumente encontradas as granulometrias comerciais superfina, fina e média.

Diante disso, o presente trabalho busca investigar soluções que promovam melhorias no que diz respeito ao conforto ambiental em habitações populares, de modo a evitar também os impactos negativos sobre o meio ambiente.

Partindo dessa premissa, na etapa teórica do trabalho, inicialmente, abordam-se considerações relativas à utilização de placas cimentícias como componentes dos sistemas verticais de vedação e, posteriormente, tópicos referentes ao uso da vermiculita como um material alternativo que propicie a estes sistemas possíveis melhorias no seu desempenho

térmico. Além disso, pode-se observar um breve estudo a respeito das propriedades térmicas e mecânicas dos materiais.

Após o embasamento da pesquisa, inicia-se a etapa experimental, que consiste em analisar o desempenho térmico das placas em quatro formulações distintas, variando a porcentagem de substituição da argila pela vermiculita expandida (0%, 25%, 50% e 75%). Além dessa análise, realizam-se os ensaios de determinação da resistência à tração na flexão e à compressão da argamassa utilizada na produção das placas, com base na NBR 13279 (ABNT, 2005). Por fim, a partir da obtenção dos resultados, são feitas as conclusões cabíveis ao estudo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste em estudar a influência da substituição de parcelas determinadas da argila empregada na produção de placas cimentícias por vermiculita expandida, de modo a analisar o comportamento térmico e mecânico das placas para utilização em sistemas verticais de vedação de habitações populares.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para a realização da pesquisa, foram estabelecidos como objetivos específicos:

- Determinar os traços com substituição de argila por vermiculita expandida;
- Confeccionar painéis de vedação com estrutura de madeira para cada traço em análise;
- Comparar o comportamento térmico dos painéis compostos de placas cimentícias contendo vermiculita em relação ao traço referencial;
- Comparar as propriedades mecânicas da argamassa utilizada na produção das placas cimentícias em relação ao traço de referência.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, serão apresentados resultados de estudos desenvolvidos por diversos pesquisadores no âmbito da construção de casas populares com estrutura de madeira, bem como considerações a respeito da utilização de placas cimentícias em sistemas verticais de vedação. Além disso, serão abordadas as principais características da vermiculita expandida e, por fim, uma breve explanação no que tange as propriedades térmicas e mecânicas dos materiais.

3.1 CONSTRUÇÃO DE CASAS POPULARES COM ESTRUTURA DE MADEIRA

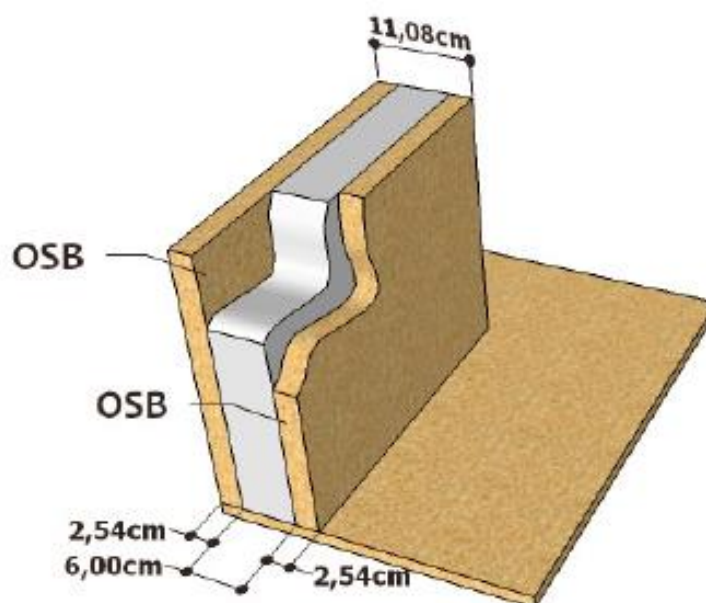
Segundo Meirelles *et al* (2013), os sistemas construtivos leves, como o *wood frame* e o *steel frame*, são considerados por muitos pesquisadores como sustentáveis, pois quase não produzem resíduos, em especial os sistemas industrializados que parte de uma montagem de componentes criteriosa.

A respeito do *wood frame* especificamente, segundo Molina e Calil Jr. (2010), trata-se de um sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o fogo.

Atualmente, já existem exemplos de construções em *wood frame* para casas populares no país, como é o caso do Residencial Haragano, localizado em Pelotas (RS). Esse residencial foi enquadrado na Faixa 1 do programa Minha Casa Minha Vida (para famílias com renda mensal de até R\$ 1,6 mil) e possui 280 unidades com 45 m² de área cada uma, sendo 270 sobrados e 10 casas térreas com projeto de acessibilidade. As moradias populares foram erguidas rapidamente, sendo montadas em média uma unidade e meia por dia.

Neste sistema, o fechamento mais aplicado nos Estados Unidos, Canadá e Chile são composições com duplo painel OSB (*Oriented Strand Board*), mostrado na Figura 1, e um material de isolamento térmico no meio. O painel OSB é um painel de tiras de madeira orientadas, e intercaladas, produzido a partir de madeira de reflorestamento (MEIRELLES *et al*, 2013).

Figura 1. Duplo painel OSB.



Fonte: Meirelles *et al* (2013).

Conforme afirmado por Meirelles *et al* (2013), “os processos construtivos aplicados as habitações sociais no Brasil apresentam falta de flexibilidade no projeto de arquitetura, uma baixa qualidade e durabilidade na construção, a falta de um conforto térmico, entre outros fatores”.

Por outro lado, de acordo com Molina e Calil Jr. (2010), o setor técnico acadêmico e industrial madeireiro vem realizando enormes esforços para divulgação e implantação desse sistema, por isso, tem fundamental importância a conscientização e educação de engenheiros e arquitetos da necessidade e potencial da utilização deste sistema construtivo no Brasil e as metas a serem alcançadas para esta finalidade, além da criação de centros de formação de treinamento de mão de obra, projetistas e arquitetos.

3.2 PLACAS CIMENTÍCIAS

De acordo com Cichinell (2007), as placas cimentícias são resultantes da mistura de cimento Portland, agregados, adições ou aditivos e reforçadas com fibras, fios, filamentos ou telas. O uso desse material agrega valor à obra, segundo Pontes (2010), especialmente em projetos em que há necessidade ou preocupação em otimizar o espaço físico, tempo e

qualidade de acabamento. Trata-se de uma alternativa rápida, limpa e econômica para a construção civil, podendo ser aplicada tanto em áreas internas como externas.

Cichinell (2007) classifica os tipos de placas cimentícias disponíveis no mercado:

- a) CRFS (Cimento Reforçado com Fios Sintéticos) – placas com cimento Portland, agregados naturais, celulose e fios sintéticos;
- b) GRC ou GRFC (Glass Fiber Reinforced Concrete) – placas com cimento Portland, agregados e fibras de vidro resistentes a álcalis dispersos na matriz;
- c) Placas com cimento Portland – agregados leves, reforçadas com telas de fibra de vidro nas superfícies.

De acordo com Zatt (2010), a utilização das placas cimentícias como fechamento apresenta diferentes níveis de industrialização na produção das habitações, os quais se diferem pelo esquema de montagem adotado. As etapas de produção da edificação, bem como a experiência da adoção dessa tecnologia em países industrializados, evidenciam o alto poder de industrialização do sistema construtivo.

Alguns cuidados devem ser tomados na sua utilização como revestimento. As placas para uso externo, por exemplo, devem apresentar maior resistência para suportar as variações climáticas, o contato com a umidade e com a insolação direta. Já as solicitações dos ventos e das cargas horizontais devem ser levadas em conta no caso da sua aplicação em fachadas (CICHINELL, 2007).

Desse modo, mostrar-se-ão as matérias primas constituintes desse produto, bem como o processo de produção das placas cimentícias, enfatizando a dosagem, moldagem e cura, além de considerações em relação à norma vigente para placas cimentícias.

3.2.1 Matérias-primas

3.2.1.1 Cimento Portland

Segundo Speck (2014), o cimento é um pó fino com propriedades aglutinantes, que endurece sob a ação da água, sendo, portanto, um aglomerante hidráulico que, depois de endurecido, mesmo sob a ação da água, não se decompõe mais.

Além da composição dos compostos cimentícios, outras propriedades também afetam sua reatividade com a água, como é o caso da finura do cimento:

Geralmente, quanto mais fino o cimento, mais rápida será sua reação. Para uma dada composição de compostos, a taxa de reatividade e, com ela, o desenvolvimento da resistência pode ser intensificado pela moagem mais fina do cimento; porém, os custos da moagem e do calor emitido na hidratação estabelecem alguns limites para a finura. (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A NBR 11579 (ABNT, 2012) – Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº200) – prescreve o método de ensaio para a determinação da finura de cimento Portland com o emprego da peneira 75 μm (nº200), pelo procedimento manual e mecânico. É determinada a porcentagem, em massa, de cimento cujas dimensões de grãos são superiores a 75 μm (fração retida).

3.2.1.2 Agregados

Conforme definição de Bauer (2000), agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. Na literatura em geral, pode-se encontrar a classificação dos agregados segundo a origem, a dimensão das partículas e o peso específico aparente:

a) quanto à origem: podem ser *naturais*, quando se encontram de forma particulada na natureza, como exemplos existem a areia e o cascalho; e *industrializados*, aqueles que têm sua composição particulada obtida por processos industriais, podendo a matéria-prima ser rocha, escória de alto-forno e argila, por exemplo.

b) quanto à dimensão das partículas: dividem-se em *miúdos*, com tamanhos que variam entre 75 μm e 4,75mm, por exemplo, as areias; e *gráúdos*, variando seus tamanhos de 4,75mm a cerca de 50mm, como é o caso das britas.

c) quanto ao peso específico aparente: conforme a densidade do material que constitui as partículas, os agregados são classificados em *leves*, com massa unitária menor que 1120kg/m³, como é o caso da vermiculita; *médios*, com massa unitária de 1520 a 1680kg/m³, como exemplo a areia; e *pesados*, com mais de 2080kg/m³, como a barita.

É imprescindível conhecer certas características dos agregados, como por exemplo, sua massa específica, umidade e composição granulométrica, a fim de se fazer uma dosagem adequada. Mehta e Monteiro (2008) destacam que a importância da composição granulométrica apropriada do agregado é tão respeitada atualmente que as modernas usinas de agregados contam com o equipamento necessário para realizar operações envolvendo

britagem, limpeza, separação granulométrica e combinação de duas ou mais frações para atender as especificações do cliente.

Há vários motivos para especificar os limites granulométricos e a dimensão máxima do agregado. O mais importante é sua influência sobre a trabalhabilidade e o custo. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), areias muito grossas produzem misturas de concreto ásperas e não trabalháveis, e areias muito finas aumentam a demanda de água (e também o consumo de cimento para uma dada relação água/cimento), não sendo econômicas.

A mesma ideia de que a composição granulométrica dos agregados, sejam eles miúdos e/ou graúdos, constituintes das misturas utilizadas na construção civil, vale não apenas para produção de concreto, como também para a dosagem de argamassas e compósitos cimentícios em geral. Desse modo, pode-se observar na Tabela 1, as exigências granulométricas para agregados miúdos.

Tabela 1. Exigências granulométricas para agregados miúdos.

Peneira (Especificação E 11)	Porcentagem passante
9,5 mm	100
4,75 mm (Nº 4)	95-100
2,36 mm (Nº 8)	80-100
1,18 mm (Nº 16)	50-85
600 µm (Nº 30)	25-60
300 µm (Nº 50)	10-30
150 µm (Nº 100)	2-10

Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

Agregados de granulometria contínua, ou seja, que não apresentam grande deficiência ou excesso de qualquer dimensão de partícula produzem as misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

3.2.1.3 Fibras

Conforme dito por Zatt (2010), as placas cimentícias possuem fibras e estas, além de atuarem de modo semelhante ao das barras de aço no concreto armado, têm como função aumentar a capacidade de absorver deformações à tração, à flexão e aos impactos.

Em caso de componentes esbeltos ou em aplicações onde a massa específica deva ser considerada, como os painéis, as telhas e as divisórias, o reforço deve ser feito com materiais compatíveis, em dimensão e massa, com a aplicação desejada, e o uso da fibra surge então como alternativa técnica recomendada (SILVA, 2002).

Para a obtenção de bons resultados nas diversas aplicações, as placas cimentícias possuem algumas diferenças fundamentais em sua composição. Anteriormente as placas eram desenvolvidas a partir de matrizes de cimento que continham amianto, mas, com a proibição desta fibra, as chapas receberam em suas composições fibras sintéticas e fibras de vidro. As mais utilizadas atualmente dividem-se em dois grupos, as placas com fibras dispersas na matriz ou então as que apresentam reforços em malhas de fibras de vidro nas superfícies (ZATT, 2010).

Bernardi (2003) adota a visão de que se pode dividir as fibras em dois grandes grupos: o primeiro grupo seria o das fibras naturais, que inclui as fibras de sisal, côco, bananeira e palha de arroz, por exemplo; enquanto no segundo grupo se encontram as fibras sintéticas, ou fabricadas pelo homem, que englobariam tanto as fibras artificiais como as outras, incluindo, por exemplo, fibras de aço, polipropileno, nylon, carbono, poliéster, vidro, aramida, celulose, PVA, borracha, polietileno e acrílico.

Tendo em vista sua disponibilidade e custos adequados, as fibras, tanto as naturais como as sintéticas, vem sendo utilizadas para a produção de componentes cimentícios esbeltos reforçados em substituição ao amianto, já que estudos comprovaram que este é nocivo à saúde. Entretanto, as pesquisas desenvolvidas até o momento têm apresentado dificuldades relacionadas à durabilidade das matérias-primas e aos processos de produção empregados (SILVA, 2002).

3.2.1.4 Aditivos e adições

A ASTM C 125, segundo Mehta e Monteiro (2008), define aditivo/adição como qualquer material – que não seja água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras – usado como ingrediente do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura. Entre as inúmeras finalidades encontradas para o uso desses materiais, pode-se destacar: aumentar a plasticidade da mistura sem aumentar o consumo de água, reduzir exsudação e segregação, acelerar ou retardar o tempo de pega, acelerar as taxas de desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, etc.

Atualmente, é notória a vasta utilização desses materiais na produção de concretos e argamassas. Pode-se observar, com essa elevada aceitação do produto no mercado, que sua eficiência não é comprovada apenas na realização de ensaios laboratoriais, como também na prática, na construção dos mais diversos tipos de edificações. Não obstante, deve-se manter o

cuidado em aderir às recomendações dos fabricantes e não tentar compensar a má dosagem ou má qualidade dos ingredientes por meio da utilização desses materiais.

3.2.1.5 Água

O cimento Portland anidro não aglomera areia e rocha, ele adquire a propriedade adesiva apenas quando é misturado com a água. Isso se dá porque a reação química do cimento com a água, comumente denominada hidratação do cimento, resulta em produtos que possuem características de pega e endurecimento (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

As teorias evidenciam que, quanto mais água adicionada na preparação de massas cimentícias, menor será sua resistência mecânica. Segundo Speck (2014), a afirmação disso deve-se à segregação dos materiais que compõem a massa ser facilitada quando a quantidade de água presente é maior: os materiais mais pesados tendem a se acomodar ao fundo, enquanto que os mais leves tendem a migrar para a parte superior.

3.2.2 Processo de produção das placas cimentícias

O resultado eficiente de um material compósito depende da melhor combinação de seus componentes, podendo ser complementada por adições às matrizes, ou ainda pela inserção de elementos de reforço, quando necessário. Nesse contexto, serão descritas as principais etapas do processo de produção das placas cimentícias.

3.2.2.1 Dosagem

A dosagem é a etapa inicial do processo de produção dos compósitos cimentícios em geral. O primeiro passo consiste em fazer uma criteriosa seleção dos materiais e encontrar a combinação correta dos componentes, estabelecendo o traço, que determina, em massa ou em volume, as quantidades de materiais a serem utilizados. Segundo Speck (2014), é através da correta dosagem destes materiais que é possível obter a correta formulação para a produção das placas cimentícias.

Feito isso, realiza-se a mistura seca, que consiste em homogeneizar os componentes, podendo ser feita de forma manual ou com a utilização de um misturador mecânico. Em seguida, faz-se a mistura líquida, que junta a água com os aditivos (usados quando existe a preocupação em melhorar trabalhabilidade, resistência mecânica ou tempo de pega do

cimento, por exemplo). E, posteriormente, junta-se a massa seca com a massa líquida, homogeneizando a mistura, até chegar a trabalhabilidade adequada para a colocação em fôrmas.

Conforme indicado por Mehta e Monteiro (2008), o objetivo fundamental para seleção das proporções das misturas de concreto é atingir um equilíbrio razoável entre a trabalhabilidade, a resistência, a durabilidade e o custo do concreto. O mesmo serve para o caso das placas cimentícias, tendo em vista que sua trabalhabilidade determinará a facilidade com que a mistura será manipulada, também deverão apresentar uma resistência adequada para cada tipo de solicitação, além de oferecer uma durabilidade que propicie a vida útil requerida e o custo seja economicamente atrativo.

3.2.2.2 Moldagem

As placas cimentícias ganham sua forma a partir de uma dosagem, onde as mesmas adquirem determinada fluidez, possibilitando sua moldagem. Esse formato geralmente é atribuído por meio de fôrmas que darão as dimensões da placa. Speck (2014) denomina este processo de conformação fluida, que é caracterizada pelo processo de colagem do material em moldes com dimensões previamente estabelecidas.

As fôrmas (também chamadas de moldes) podem ser feitas de diversos materiais, como madeira ou silicone, e são, em geral, confeccionadas artesanalmente. Além das dimensões, são elas que definem o desenho, a textura e a rugosidade das placas.

Logo, é nesta etapa que o material tomará sua forma definitiva, passando de fluido para sólido. Para isso, o material deve permanecer dentro do molde até endurecer, o que pode levar algumas horas.

3.2.2.3 Desmoldagem e cura

Após retirar as placas dos moldes, as mesmas devem ser armazenadas em local adequado para cura, onde devem permanecer em temperatura ambiente. Enquanto não atingir resistência satisfatória, Speck (2014) destaca que as placas cimentícias devem ser protegidas contra mudanças bruscas de temperatura, secagem rápida, exposição direta ao sol, agentes químicos, bem como contra choques e vibrações que possam produzir fissuração na massa das placas.

É nessa etapa que ocorrem as reações de hidratação do cimento, que é responsável pela pega e endurecimento da mistura. Os objetivos da cura são, pois, evitar a perda de umidade e controlar a temperatura por um período suficiente para atingir o nível de resistência desejada. Uma mistura convencional de concreto normalmente leva de 6 a 10 horas para atingir a pega e de um a dois dias para atingir o nível de resistência necessária à remoção das fôrmas (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

3.2.3 Placas cimentícias compondo o sistema de vedação

Diante da elevada quantidade de recursos consumidos e resíduos gerados pela indústria da construção civil, pode-se observar a necessidade de buscar sistemas construtivos que levem em consideração os três aspectos do desenvolvimento sustentável – econômico, social e ambiental – de forma equilibrada.

Atualmente, já se pode notar a existência de trabalhos que contemplam esta temática, de modo a investigar a viabilidade da utilização de placas cimentícias como componentes do sistema de vedação. Para Zatt (2010), a utilização das placas cimentícias como fechamento apresenta diferentes níveis de industrialização na produção das habitações, os quais se diferem pelo esquema de montagem adotado.

Zatt (2010), por meio da realização de um trabalho teórico-prático, comparou dois sistemas construtivos de paredes de vedação externas não estruturais: o tradicional, utilizando alvenaria, e o Light Steel Frame conjugado com fechamento de placas cimentícias. Além das diferenças que este apresenta no acabamento superficial dado à fachada, foi possível também observar as inúmeras alterações em relação ao sistema tradicional, como processo de projeto, velocidade de execução, eliminação de algumas etapas construtivas, maior organização no canteiro e menor perda de material. Por outro lado, apesar da notória redução do prazo de obra, foi constatado um déficit considerável nos custos em relação a utilização de alvenaria.

Outro estudo comparativo entre os sistemas de vedação externa com placas cimentícias e o tradicional, realizado por Carvalho (2015), também aponta para uma maior racionalização do canteiro e redução de prazos. Em contrapartida, destaca a problemática da escassez, no Brasil, de mão-de-obra qualificada para a execução de sistemas que utilizam placas cimentícias em detrimento das tecnologias tradicionais.

Mendes (2014), em seu estudo de viabilidade técnica, econômica e socioambiental do sistema de vedação vertical externa a base de painéis cimentícios, aponta que, no Brasil, esse tipo de material requer aprovação para obter uma linha de financiamento da Caixa

Econômica, mas antes disso, os painéis precisam ter os desempenhos avaliados. Buscando comparar desempenhos técnicos e econômicos dos produtos e socioambientais de cada fornecedor de painéis cimentícios para obter o melhor custo-benefício por meio de um modelo multicritério de tomada de decisão, ele constatou que nem sempre o de menor custo é o mais viável considerando outros fatores como a qualidade técnica dos painéis e também a responsabilidade socioambiental dos fornecedores.

Além de estudos no âmbito da utilização de placas cimentícias em sistemas verticais de vedação, muitos pesquisadores também investigam o uso dos mais diferentes tipos de materiais para compor as placas cimentícias, de modo a propiciar melhorias de suas propriedades, no que tange ao desempenho térmico e acústico, à sua resistência mecânica, à redução da ocorrência de manifestações patológicas, entre outras.

Nessa perspectiva, Arruda Filho (2015), ao desenvolver placas cimentícias reforçadas com tecidos estruturais de sisal, verificou um aumento da tenacidade e um ganho de resistência pós-fissuração, igual ou superior ao encontrado na literatura, com o uso de fibras curtas e mechas de fibras longas de sisal. Obteve-se também menor espessura e menor espaçamento entre as fissuras, com mais uniformidade no padrão das mesmas. Além disso, pôde-se notar que tanto a quantidade de camadas de reforço como sua disposição na conformação das placas têm influência direta no desempenho mecânico dos compósitos. Constatou, assim, que as placas cimentícias reforçadas com tecidos estruturais de sisal, mostram potencial para serem utilizadas como elementos estruturais, semiestruturais ou de vedação.

Enquanto isso, Moura e Matos (2015), buscando avaliar parâmetros físicos e mecânicos de placas cimentícias alternativas, à base de resíduos sólidos domiciliares, compostos por polímeros, papéis e vidro, realizaram ensaios de determinação da resistência à compressão, resistência à flexão, de massa específica aparente, absorção de água e de microscopia eletrônica de varredura. Os resultados foram comparados com os dados técnicos das placas cimentícias convencionais (sem amianto) e das placas de EPS, disponíveis na literatura. Diante disso, concluíram que todos os índices obtidos para o compósito formado à base de resíduos proveniente da coleta seletiva do município de Blumenau-SC alcançaram os limites mínimos necessários dos parâmetros abordados, para sua aplicação em estruturas de vedação.

No âmbito de decoração e estética no seguimento de revestimento para pisos e fachadas, Speck (2014) aborda em seu estudo uma falha quanto ao aspecto funcional das placas cimentícias, que é o descolamento/destacamento das placas cimentícias assentadas e

fissuras nas placas cimentícias aderidas. Como fontes dessa manifestação patológica, o autor destaca duas: materiais e métodos de assentamento inadequados e inadequações das características funcionais. A partir disso, foram adicionadas fibras de vidro, fibras de polipropileno, telas de fibra de vidro e telas metálicas, com finalidade de melhorar as propriedades funcionais das placas. Os resultados apontaram que tanto as telas metálicas como as telas de fibra de vidro finas apresentaram melhor desempenho quanto à resistência mecânica, dilatação térmica e expansão térmica, evitando as patologias apresentadas e melhorando o desempenho das placas cimentícias.

3.2.4 Normalização

Para a padronização e a qualificação dos produtos ofertados ao mercado brasileiro, existe a NBR 15498 (ABNT, 2016) – Placa de fibrocimento sem amianto – Requisitos e métodos de ensaio –que estabelece os requisitos e os métodos de ensaio, assim como as condições de recepção das placas de fibrocimento reforçadas com fibras, fios, filamentos ou telas, com exceção de fibras de amianto.

Para Cichinell (2007), entre os critérios a serem adotados, destacam-se os requisitos dimensionais, que deverão ser checados no recebimento do produto e os físicos e mecânicos, verificados por ensaios a serem realizados pelo fabricante de acordo com o plano de amostragem da produção.

A norma vigente supracitada agrupa os ensaios em três tipos: ensaios de aceitação, ensaios de tipo e ensaios de recebimento. O objetivo dos ensaios de aceitação é estabelecer se um lote de produto está conforme sua especificação. Para isso, devem ser efetuados a) controle geométrico, b) resistência a tração na flexão e c) absorção de água. Estes ensaios devem ser realizados em amostras retiradas do produto pronto.

Quanto aos ensaios de tipo, estes devem ser efetuados sobre o produto pronto, e demonstrar a conformidade do produto com as prescrições. Nesse caso, devem ser realizados a) resistência à tração na flexão, b) permeabilidade, c) envelhecimento acelerado por imersão em água quente, d) envelhecimento acelerado por imersão e secagem, e) comportamento sob a ação do fogo, f) variação dimensional por imersão e secagem e g) calor-chuva.

Já os ensaios de recebimento, são aqueles acordados entre o fabricante e o comprador, baseando-se nos ensaios prescritos na Norma.

3.3 VERMICULITA EXPANDIDA

Na busca por melhorias nas propriedades térmicas, alguns materiais são apontados na literatura como isolantes térmicos. Um deles é a vermiculita, um argilomineral da família das micáceas, encontrada em abundância no Brasil, e que tem sido utilizada na sua forma expandida, na construção civil, na confecção de argamassas e concretos para isolamento térmico e acústico (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2005).

Em seguida, pode-se observar considerações pertinentes a respeito desse material, como definições, propriedades e aplicações.

3.3.1 Definições e propriedades

Conforme a NBR 11355 (ABNT, 2015), a vermiculita é definida como um agregado mineral incombustível, de estrutura lamelar triforme, que exposto a um choque térmico, apresenta uma expansão ortogonal, passando a ter um aspecto semelhante ao de uma sanfona aberta. O nome vermiculita é derivado do latim *vermiculus* que significa pequeno verme e se deve ao fato de que esse material se expande sob aquecimento, durante o qual suas partículas movimentam-se de forma semelhante à dos vermes.

A vermiculita é um silicato hidratado de formato lamelar, contendo quantidades variáveis de ferro, magnésio, potássio e alumina. Suas características físicas são as mesmas das micas, no que se refere à clivagem típica, separando-se em finas lamelas flexíveis, porém sem elasticidade, e com cores que variam do bronze ao amarelo-amarronzado, com brilho perolado típico. A dureza do mineral pode variar de 2,1 a 2,8, na escala Mohs, e a massa específica é 2,5 g/cm³. (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2005).

O mineral comercializado na forma expandida apresenta propriedades como baixos valores de massa específica aparente e de condutividade térmica. A aplicação depende ainda da sua granulometria e pureza, sendo comumente encontradas as granulometrias comerciais superfina, fina e média.

Segundo Ugarte, Sampaio e França (2005), a vermiculita é um material não abrasivo, inodoro, não se decompõe nem promove irritações na pele, possui propriedades isolantes, tanto térmica como acústica, não contém asbestos e é um material não carcinogênico. Esses autores destacam ainda que suas propriedades de superfície, somadas aos elevados valores de

área superficial específica, porosidade e carga superficial (negativa) fazem da vermiculita um material adequado para o uso como adsorvente ou como carreador.

3.3.2 Produção da vermiculita expandida no Brasil

A vermiculita é normalmente minerada a céu aberto, e são utilizados equipamentos convencionais, tais como escavadeiras, carregadeiras e caminhões. Perfuração e desmonte são necessários quando há a presença de corpos rochosos mais duros. As técnicas de beneficiamento são baseadas em propriedades como forma, densidade, composição e resistência à cominuição (SZNELWAR; SCALABRIN, 2009).

Os minérios brasileiros não contêm asbestos, o que confere aos concentrados de vermiculita maior valor agregado, além de favorecer o melhor aproveitamento econômico do bem mineral (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2005). De acordo com Sznelwar e Scalabrin (2009), o Brasil é o quinto produtor mundial totalizando 15% da produção mundial e detém 10% das reservas mundiais declaradas. Basicamente três pólos distintos de produção podem ser identificados no país: um em Goiás, outro na Paraíba e outro na Bahia.

Atualmente sua produção em escala industrial é realizada de forma concentrada em algumas poucas regiões no mundo e sua aplicação está grandemente concentrada em nações de maior desenvolvimento. A vermiculita é comercializada na forma de concentrados e na forma expandida. No processo de expansão, em temperaturas próximas a 900°C, seu volume pode aumentar de 10 até 30 vezes (SZNELWAR; SCALABRIN, 2009).

3.3.3 Utilização da vermiculita expandida na construção civil

De acordo com Ugarte, Sampaio e França (2005), a aplicação da vermiculita em cada uso específico depende da sua granulometria e pureza: aquelas com granulometria mais fina são aplicadas na produção de manufaturados para a construção civil, além de utilizadas como carreadoras na produção de fertilizantes e de alimentação para animais; já as de granulometria mais grossa, são utilizadas para fins de horticultura, cultivo e germinação de sementes, dentre outros.

Dentre os principais usos na construção civil, está a sua aplicação como isolante térmico e acústico em paredes, na forma de massa para revestimento, graças à baixa condutividade térmica do material e à pequena propagação sonora (UGARTE; SAMPAIO;

FRANÇA, 2005). Neste segmento industrial, a vermiculita é usada nas granulometrias média, fina e superfina; e, em geral, utilizam-se argamassas com proporções conhecidas, em volume.

No mercado da construção civil, existem diversos produtos à base de vermiculita expandida, em geral, compondo argamassas leves e conferindo isolamento acústico a paredes e lajes e/ou conforto térmico para os ambientes. Normalmente, segundo Sousa (2010), produzem-se blocos pré-fabricados com a incorporação da vermiculita expandida, bem como concretos leves para isolamentos térmicos, ou ainda argamassas para aplicação em pavimentos com o fim de otimizar o isolamento acústico e diminuir o peso próprio da laje.

Para Sznclwar e Scalabrin (2009), a aplicação da vermiculita na construção civil contribui de forma importante na fabricação de elementos estruturais mais leves, que propiciam conforto térmico e acústico, influenciando na redução de custos de construção e melhoria da qualidade de moradia e instalações.

A vermiculita expandida pode ser encontrada também compondo placas para uso como divisórias; impermeabilizante em lajes de cobertura e massas anti-fogo para paredes, teto e portais. A multiplicidade de aplicações do minério vermiculita deve-se, em grande parte, às propriedades adquiridas no processo de expansão, quando submetida a elevadas temperaturas (BRASIL MINÉRIOS, 2016).

O comércio mundial da vermiculita representa um negócio da ordem de US\$ 200 milhões ao ano, segundo Sznclwar e Scalabrin (2009), e a comercialização é acompanhada de respectivos certificados de isenção de amianto, emitidos por laboratórios certificadores independentes.

3.4 DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

Os conceitos de desempenho aplicados ao edifício requerem uma visão integrada do projeto, buscando sustentabilidade, um maior ciclo de vida na construção, economia de energia e uma construção mais durável (MEIRELLES *et al*, 2013).

O desempenho térmico das edificações é um assunto bastante recorrente para os pesquisadores da atualidade, tendo em vista a intrínseca relação do conforto térmico com o bem-estar dos usuários. Por esse motivo, é fundamental aliar a compreensão da interação das trocas térmicas entre o ambiente externo e interno com o conhecimento sobre as condições climáticas de cada região, para, em função de diversas variáveis, se obter construções cada vez melhores de se habitar ou frequentar.

O conforto térmico de um ambiente é essencial para a sensação de bem-estar, humor e bom desenvolvimento das atividades dos usuários. Situações de desconforto por temperaturas extremas, falta de ventilação adequada, umidade excessiva combinada com temperaturas elevadas ou radiação térmica devida a superfícies aquecidas, podem ser bastante prejudiciais. Alguns efeitos físicos desse desconforto podem ser sonolência, alteração de batimentos cardíacos e aumento de sudorese. Psicologicamente, também se observam alguns efeitos como a apatia e desinteresses pelo trabalho. (MACEDO *et al*, 2011).

Souza (2016) afirma que “diversas instituições internacionais têm feito projeções pessimistas para os próximos anos e, diante desse quadro, julgam necessárias estratégias para a obtenção de conforto ambiental nas áreas urbanas localizadas, principalmente, em climas quentes”.

Atualmente, no Brasil, vigora a NBR 15220 (ABNT, 2005), referente ao desempenho térmico de edificações. Essa norma está dividida em cinco partes, que se referem aos métodos de cálculo e medição de propriedades térmicas dos componentes construtivos das edificações, sendo que a terceira parte expõe o zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

Na parte 3 da NBR 15220 (ABNT, 2005) também são apresentadas as recomendações para as propriedades térmicas dos componentes construtivos e algumas recomendações de estratégias de condicionamento térmico passivo como ventilação cruzada, resfriamento evaporativo e massa térmica. As paredes e coberturas são caracterizadas termicamente a partir dos valores de resistência térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar.

Enquanto isso, a NBR 15575 (ABNT, 2013), intitulada *Edificações habitacionais – Desempenho*, ou “norma de desempenho” como é conhecida, adota praticamente as mesmas recomendações das propriedades térmicas da NBR 15220 (ABNT, 2005), que são a transmitância térmica, a absorptância e a capacidade térmica dos elementos construtivos. Os parâmetros que não foram adotados são o atraso térmico e o fator solar. O critério de avaliação do desempenho térmico é através de valores limites de temperatura do ar no interior da edificação, para o verão e inverno.

3.4.1 Propriedades térmicas

De acordo com Macedo *et al* (2011), as propriedades térmicas como a condutividade ou a difusividade térmica dos materiais são essenciais para o dimensionamento de elementos

de isolamento, no desenvolvimento da aplicação de novos materiais e na simulação do desempenho térmico de edificações e de sistemas.

Segundo a NBR 15220-1 (ABNT, 2003), a condutividade térmica pode ser definida como a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme. Já a difusividade térmica, de acordo com a mesma norma, consiste na relação entre a condutividade térmica do material e a sua capacidade de armazenar energia térmica.

Outra propriedade térmica relevante ao estudo é a resistência térmica, que corresponde a maior ou menor facilidade com que se dá o fluxo de calor em determinada direção (BEZERRA, 2003).

3.4.2 Transferência de calor

Uma edificação absorve energia térmica do meio externo por meio dos mecanismos de radiação e convecção. De acordo com Macedo *et al* (2011), a temperatura de sua face externa eleva-se em relação à temperatura inicial e, como a temperatura da face interna é menor, ocorrerá um fluxo de calor por condução na direção desta última.

Numa edificação, os ganhos de energia por radiação podem ocorrer de modo direto, difuso, por reflexão da energia no solo e nas adjacências, por emissão do solo aquecido e da atmosfera. Enquanto isso, as perdas podem ocorrer por radiação emitida da edificação para o ar circulante, para o solo ou para a superfície (BEZERRA, 2003).

A intensidade do fluxo de calor dependerá, entre outros fatores, da espessura da parede, da capacidade calorífica do material, de sua densidade e de sua condutividade térmica. Segundo Macedo *et al* (2011), materiais que apresentam baixa densidade em geral têm baixa condutividade principalmente devido à porosidade que apresentam.

A principal fonte de energia radiante conhecida é o sol, sendo que em regiões de baixas latitudes, como o Nordeste do Brasil, a radiação solar é o principal fator de ganho térmico em edificações. Desse modo, a análise do comportamento dos materiais utilizados nos fechamentos que compõem o envelope construtivo é de suma relevância para a análise da eficiência energética das edificações (BEZERRA, 2003).

Ainda de acordo com Bezerra (2003), quando um fluido em repouso é aquecido, o gradiente de temperatura entre suas regiões está associado a um gradiente de densidade que provoca deslocamento da massa do fluido de forma cíclica (correntes convectivas). Já se o fluido escoar sobre uma superfície sólida, estando ambos a temperaturas distintas, existirá uma troca de calor entre a superfície e o fluido.

Bezerra (2003) define ainda a condução como o modo de transferência de calor que está diretamente relacionado à atividade atômica, molecular e eletrônica, sendo que o transporte de energia de uma região de maior temperatura para outra com temperatura inferior é causado pelo movimento cinético ou pelo impacto direto de moléculas, no caso dos fluidos em repouso.

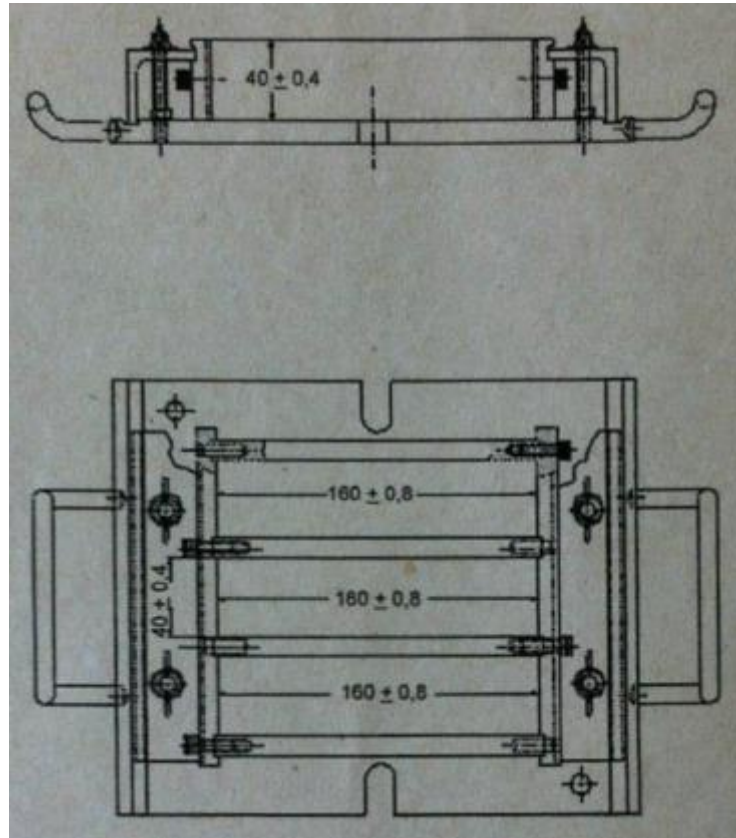
A parte 1 da NBR 15220 (ABNT, 2005) define o atraso térmico como o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor. O atraso térmico depende da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas estão dispostas.

3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

A NBR 13279 (ABNT, 2005) estabelece o método para determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos, no estado endurecido.

Nesse caso, devem ser preparados três corpos de prova para cada traço em estudo. Depois da moldagem dos corpos de prova, procede-se a ruptura dos mesmos em geral na idade de 28 dias. Os moldes utilizados podem ser vistos na Figura 2.

Figura 2. Equipamento para moldagem dos corpos de prova.



Fonte: ABNT (2005).

Primeiramente, é feito o rompimento para determinação da resistência à tração na flexão, utilizando os 3 corpos de prova produzidos para cada traço. E, em seguida, são ensaiadas as metades dos corpos de prova gerados após tal rompimento, para a determinação da resistência à compressão.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho consistiu de duas etapas distintas: a etapa teórica e a etapa experimental. Na etapa teórica, foi feita uma pesquisa a respeito da temática em questão em livros, e em publicações – teses, dissertações, monografias, artigos, etc. – encontradas nas bases de dados *online* (como *Google Acadêmico* e *Science Direct*).

Posteriormente, partiu-se para a etapa experimental, na qual foi realizada uma análise térmica de placas cimentícias com substituição de argila por vermiculita expandida em proporções determinadas. Em seguida, ainda nesta etapa, cada traço foi submetido ao ensaio de determinação da resistência à tração na flexão e resistência à compressão em argamassas no estado endurecido.

A análise térmica das placas cimentícias foi realizada no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Campus Angicos). Enquanto a determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão das argamassas utilizadas foi feita no Laboratório de Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (Campus Mossoró).

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Cimento Portland

O aglomerante empregado na produção das argamassas para confecção das placas cimentícias foi o CP II – Z – 32, fornecido pelo representante Montes Claros (Figura 3). Este é comercializado em sacos de 50 kg. Foi escolhido este tipo de cimento devido sua frequente utilização nas obras locais.

Figura 3. Cimento CP II - Z - 32.



Fonte: Autoria própria (2017).

A fim de se evitar o contato com a umidade local e preservar suas propriedades, o cimento foi acondicionado no laboratório em sacos plásticos devidamente lacrados, até o momento da sua utilização.

4.1.2 Agregado miúdo

Não foi utilizado agregado miúdo nas argamassas. Em vez disso, utilizou-se argila (Figura 4), devido a vasta utilização deste material na construção de casas de taipa. A mesma foi oriunda do município de Angicos – Rio Grande do Norte.

Figura 4. Argila.



Fonte: Autoria própria (2017).

Foi tomado o cuidado de retirar os materiais orgânicos existentes na amostra a ser utilizada, para que não houvessem alterações nos resultados. Além disso, todo o material foi destorroado e passado na peneira 4,8 mm (nº 4) para eliminar pedregulhos existentes.

4.1.3 Vermiculita expandida

A vermiculita expandida utilizada (Figura 5) foi proveniente de uma indústria localizada no Estado de São Paulo.

Figura 5. Vermiculita expandida utilizada.



Fonte: Autoria própria (2017).

O material foi comprado em sacos de 50 litros, com a granulometria definida como fina.

4.1.4 Água

Foi utilizada água potável oriunda da rede de abastecimento da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN).

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Estudo térmico

O estudo térmico das placas cimentícias consistiu de quatro etapas, que serão detalhadas nas subseções seguintes.

4.2.1.1 Produção das argamassas

Primeiramente, foi determinado o traço referência como sendo 1:6 (cimento:argila), em volume. A partir daí, ficou estabelecido se estudar a substituição da argila por vermiculita expandida nas porcentagens de 25%, 50% e 75%, como maneira de ter uma noção geral do comportamento dessas misturas a cada $\frac{1}{4}$ de substituição.

A Tabela 1 mostra a determinação dos quatro traços que foram estudados no presente trabalho.

Tabela 2. Determinação dos traços a serem estudados.

<i>Formulação da mistura, em volume</i>				
Traço	Cimento	Argila	Vermiculita	Água
0%	1,0	6,0	0,0	2,3
25%	1,0	4,5	1,5	2,3
50%	1,0	3,0	3,0	2,3
75%	1,0	1,5	4,5	2,3

Fonte: Autoria própria (2017).

Respectivamente, os traços na tabela acima remetem às formulações com substituição de argila por vermiculita expandida nas proporções de 0%, 25%, 50% e 75%.

A quantidade de água foi determinada pelo aspecto visual da mistura, ao encontrar o “ponto” de fluidez da massa, que ocorre quando a mesma já se encontra com a trabalhabilidade adequada para ser aplicada, estado comumente observado em obra.

4.2.1.2 Conformação, desmoldagem e cura

Determinados os traços, foram feitas as misturas, uma por vez, de forma manual, devido à ausência de misturador mecânico no laboratório. Primeiramente, foi feita a mistura dos materiais secos, e, em seguida, foi adicionada a quantidade de água e misturada até a completa homogeneização dos materiais constituintes.

Estabeleceu-se a quantidade de material de cada traço, mostrada na Tabela 3.

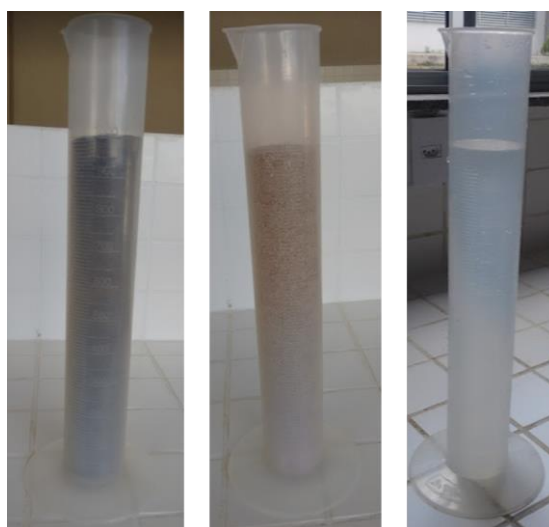
Tabela 3. Quantidade de materiais para cada traço.

<i>Quantidade de materiais (mL)</i>				
Traço	Cimento	Argila	Vermiculita	Água
0%	1000	6000	0	2300
25%	1000	4500	1500	2300
50%	1000	3000	3000	2300
75%	1000	1500	4500	2300

Fonte: Autoria própria (2017).

A quantidade de material foi medida por meio de provetas graduadas com capacidade de 1 litro, conforme Figura 6.

Figura 6. Provetas utilizadas.



Fonte: Autoria própria (2017).

As fôrmas de madeira utilizadas (Figura 7) foram cedidas pelo Laboratório de Engenharia Civil da UFRSA – Campus Angicos. Estas fôrmas produzem placas com dimensões de 10 cm x 30 cm, e espessura de 2 cm.

Figura 7. Fôrmas de madeira utilizadas.



Fonte: Autoria própria (2017).

A quantidade estipulada na Tabela 3 foi suficiente para preencher as quatro fôrmas de madeira, conforme mostrada a moldagem na Figura 8.

Figura 8. Moldagem das placas cimentícias.



Fonte: Autoria própria (2017).

Após 24 horas, as placas foram desmoldadas, e a cura ocorreu a temperatura ambiente até o 14º dia, data em que foi feita a análise térmica.

4.2.1.3 Confecção dos painéis de vedação

Passados os 14 dias de cura, foi realizada a confecção dos painéis de vedação, compostos por quatro placas cada, com uma estrutura de madeira interligando dois a dois (Figura 9).

Figura 9. Diferentes vistas do painel de vedação de um dos traços.



Fonte: Autoria própria (2017).

A ligação entre a estrutura de madeira e as placas foi feita por meio de pregos. E entre as placas foi passada cola de silicone para garantir a vedação entre elas.

4.2.1.4 Análise térmica

Após a confecção dos painéis de vedação, foi feita a análise térmica, que consistiu na montagem de um protótipo e execução do experimento.

O protótipo – aparato experimental utilizado – tinha a finalidade de ensaiar o desempenho térmico das placas cimentícias. Para sua confecção, utilizou-se uma caixa térmica de isopor (Figura 10) com capacidade de 170 litros e dimensões aproximadas de 90 x 60 x 45 cm, dentro da qual foi colado papel alumínio para conservar o calor.

Figura 10. Caixa térmica de isopor utilizada.



Fonte: Aatoria própria (2017).

À caixa térmica foi adicionada uma fonte de calor no seu interior e uma divisória interna, conforme mostradas na Figura 11. Utilizou-se duas lâmpadas infravermelhas de 250 Watts representando a fonte de calor. Foram escolhidas tais lâmpadas pois estas irradiam elevadas temperaturas.

Figura 11. Fonte de calor e divisória interna.



Fonte: Aatoria própria (2017).

Nesse sentido, o ambiente com a fonte de calor correspondeu ao ambiente externo, simulando o efeito da temperatura externa que atua nas edificações; já o ambiente oposto, fechado, foi entendido como sendo o ambiente interno, referente ao interior das edificações.

Entre os dois ambientes, foram colocados os painéis de vedação a serem ensaiados, posicionados transversalmente na divisória da caixa, um por vez (Figura 12).

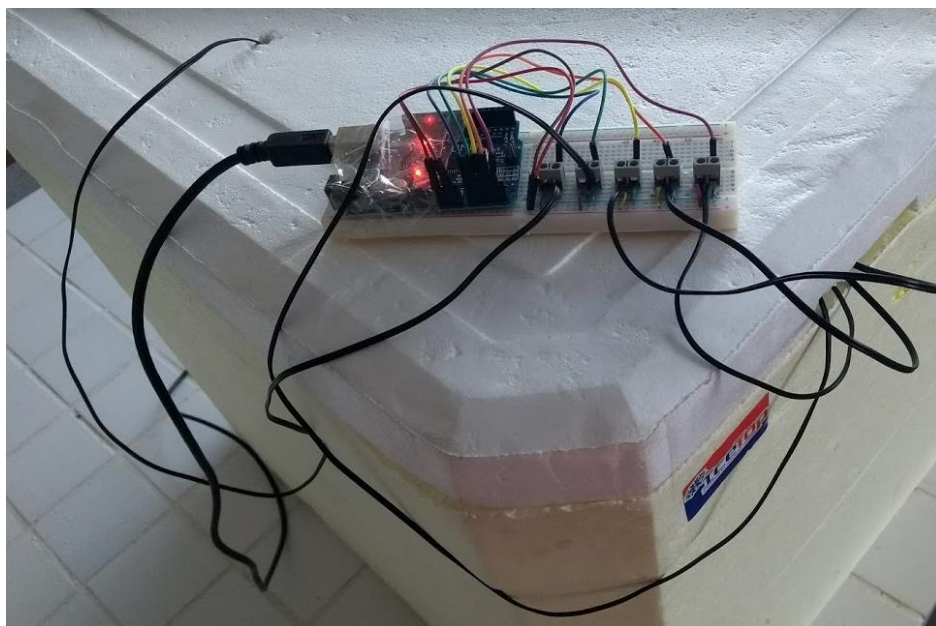
Figura 12. Posicionamento do painel de vedação no protótipo.



Fonte: Autoria própria (2017).

Foram utilizados também quatro sensores de temperatura, ligados a um arduíno (Figura 13), que se conectava ao computador, fazendo as leituras das variações térmicas num *software* denominado *CoolTerm*.

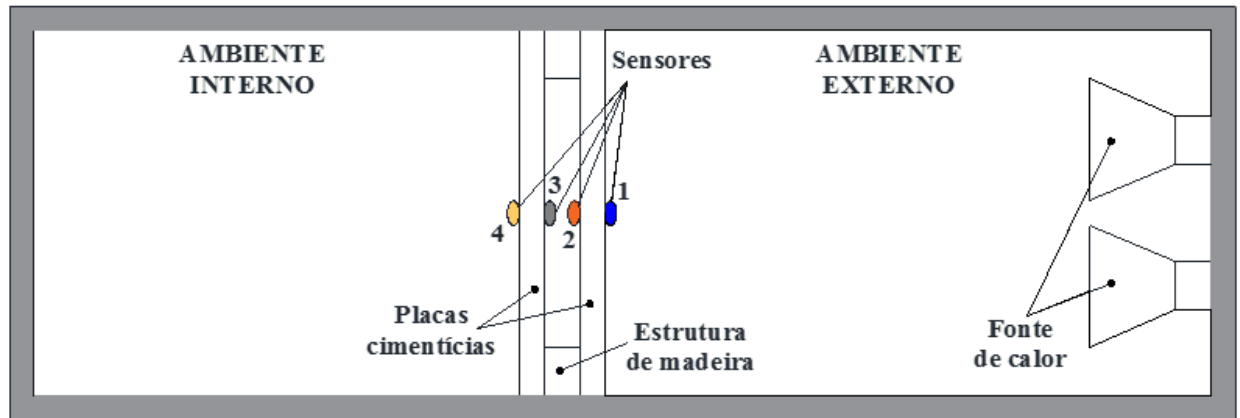
Figura 13. Arduíno com sensores de temperatura.



Fonte: Autoria própria (2017).

Os sensores foram posicionados de forma estratégica, conforme esquematizado na Figura 14.

Figura 14. Esquema do posicionamento dos sensores.

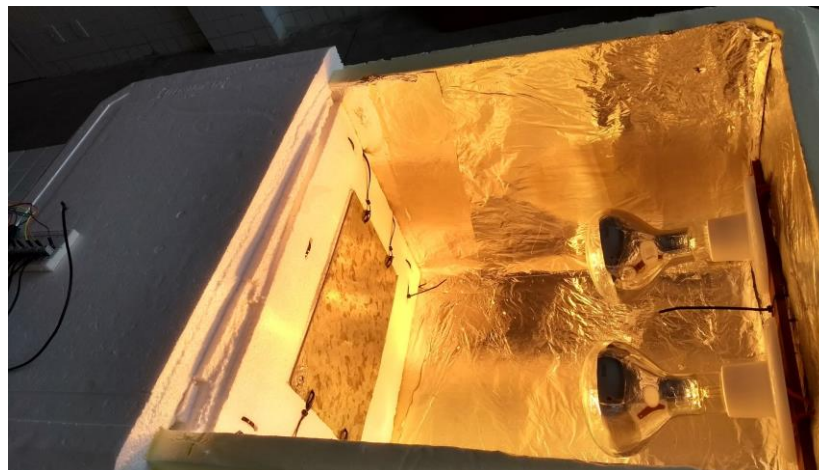


Fonte: Autoria própria (2017).

As medidas foram coletadas ao longo de quatro horas seguidas, com leituras feitas por minuto no *software* utilizado. Com uma hora e meia, eram desligadas as lâmpadas, como maneira de simular o cessar da irradiação do sol que ocorre durante a noite.

Somente o ambiente interno do protótipo foi vedado (Figura 15), para evitar danos na caixa, já que esta poderia não aguentar temperaturas muito elevadas. Enquanto isso, o ambiente externo do protótipo, por estar aberto, tem a influência de temperatura não somente da fonte de calor, como também do próprio ambiente de localização.

Figura 15. Ambiente interno vedado.



Fonte: Autoria própria (2017).

Para uma maior fidelidade na obtenção dos dados, os ensaios foram realizados sempre no mesmo horário e no mesmo ambiente, sob condições provavelmente muito semelhantes.

4.2.2 Estudo mecânico

O estudo mecânico foi feito com base na NBR 13279 (ABNT, 2005) intitulada *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*.

4.2.2.1 Moldagem dos corpos de prova

Após aplicar uma fina camada de óleo mineral na parte interna dos moldes, procedeu-se a moldagem de três corpos de prova prismáticos de dimensões 4 x 4 x 16 cm, para cada traço em estudo (Figura 16).

Figura 16. Moldagem de três corpos de prova para cada traço.



Fonte: Autoria própria (2017).

Imediatamente após o preparo da argamassa, com o molde fixo à mesa de adensamento, introduziu-se em cada compartimento do molde uma porção de argamassa e procedeu seu espalhamento, formando uma camada uniforme.

Feito isso, foram aplicadas 30 quedas através da mesa de adensamento e, em seguida, preencheu-se o molde com mais uma camada de argamassa e aplicadas 30 quedas novamente na mesa de adensamento.

Posteriormente, rasaram-se os corpos de prova com régua metálica e permaneceram conformados por 24 horas. Passado esse tempo, os corpos de prova foram retirados dos moldes e deixados em cura úmida por 14 dias.

4.2.2.2 Ensaio de determinação da resistência à tração na flexão

As rupturas foram realizadas nos corpos de prova na idade de 14 dias, tendo em vista que a análise térmica também foi feita nessa idade.

Cada corpo de prova foi posicionado nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio, conforme Figura 17.

Figura 17. Ruptura dos corpos de prova - resistência à tração na flexão.



Fonte: Autoria própria (2017).

Foi, então, aplicada carga de 50 N/s até a ruptura do corpo de prova. A resistência à tração na flexão foi obtida diretamente no *software* ligado à prensa, não necessitando fazer o cálculo de forma manual segundo a equação descrita na NBR 13279 (ABNT, 2005).

4.2.2.3 Ensaio de determinação da resistência à compressão

Após a ruptura dos corpos de prova para determinação da resistência à tração na flexão, sobram duas metades dos mesmos (Figura 18), os quais podem ser utilizados para a determinação da resistência à compressão.

Figura 18. Metades de três corpos de prova após ruptura.



Fonte: Autoria própria (2017).

Posteriormente, posicionou-se cada uma dessas metades no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio (Figura 19).

Figura 19. Ruptura dos corpos de prova - resistência à compressão.



Fonte: Autoria própria (2017).

Os resultados também foram obtidos diretamente no *software* ligado à prensa, não necessitando fazer o cálculo de forma manual segundo a equação descrita na NBR 13279 (ABNT, 2005).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão descritos e analisados os resultados obtidos por meio da etapa experimental descrita no capítulo anterior.

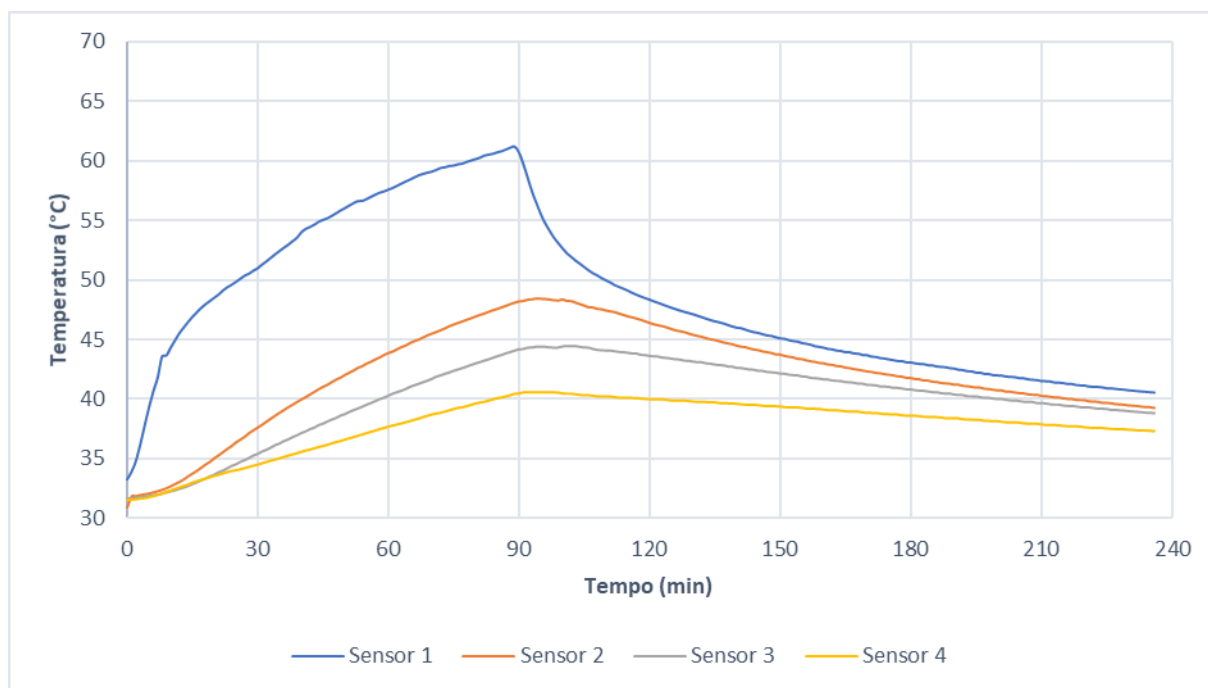
5.1 ESTUDO TÉRMICO

Os resultados do estudo térmico foram subdivididos em quatro subseções para um melhor entendimento do comportamento apresentado por cada painel isoladamente.

5.1.1 Traço 0%

O Traço 0% remete às placas cimentícias que não apresentam vermiculita em sua composição. Os resultados obtidos na análise do painel formado por estas placas foram mostrados no Gráfico 1.

Gráfico 1. Resultados obtidos para o Traço 0%.



Fonte: Autoria própria (2017).

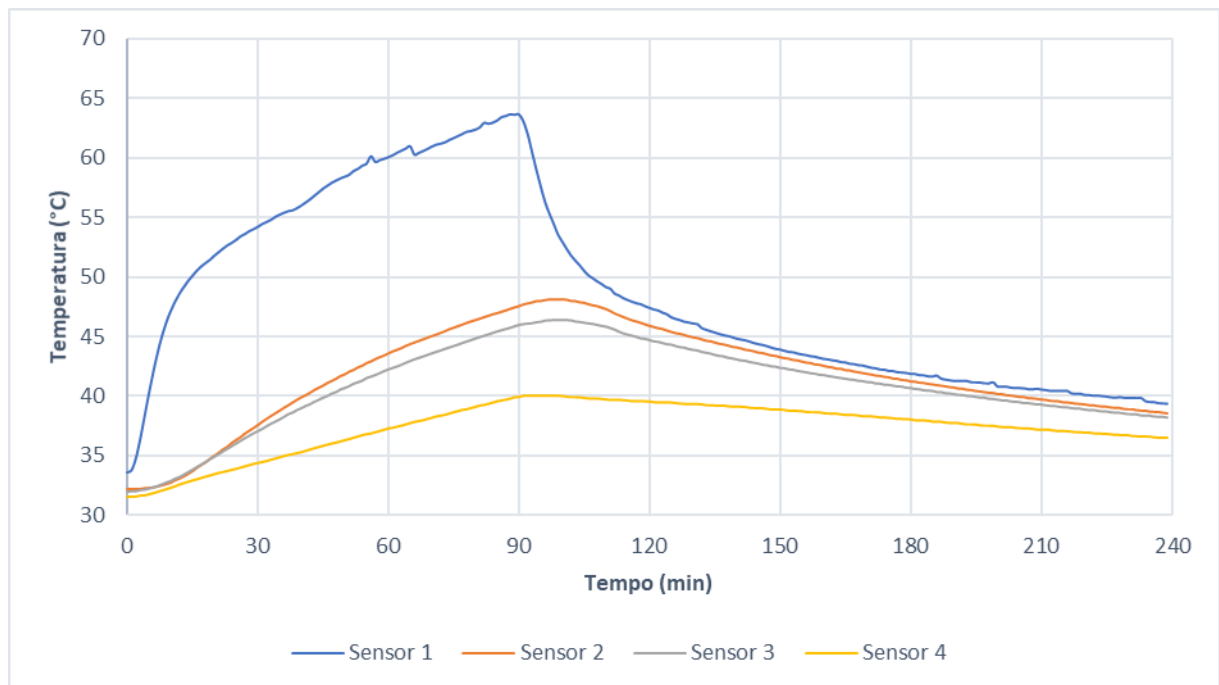
Diante da visualização gráfica (Gráfico 1), pode-se observar que aos 30 minutos de ensaio, o isolamento entre as placas, isto é, da parte externa mais próxima da fonte de calor (Sensor 1) até a placa que está em contato com o ambiente interno (Sensor 4) era cerca de 17°C. Aos 60 minutos de ensaio, essa diferença havia subido para 20°C, e aos 90 minutos, no pico de máximo calor neste experimento, a diferença também era de 20°C.

Aos 90 minutos, ao desligar a fonte de calor, a temperatura começa a decair, resultando na queda da temperatura em todos os pontos de localização dos sensores, mostrando uma tendência a se estabilizar com o passar do tempo.

5.1.2 Traço 25%

O Traço 25% corresponde às placas cimentícias que apresentam substituição de 25% do volume de argila por vermiculita em sua composição. Os resultados obtidos na análise do painel formado por estas placas foram mostrados no Gráfico 2.

Gráfico 2. Resultados obtidos para o Traço 25%.



Fonte: Autoria própria (2017).

Nesse caso, foi possível identificar um isolamento entre parte externa mais próxima da fonte de calor (Sensor 1) até a placa que está em contato com o ambiente interno (Sensor 4)

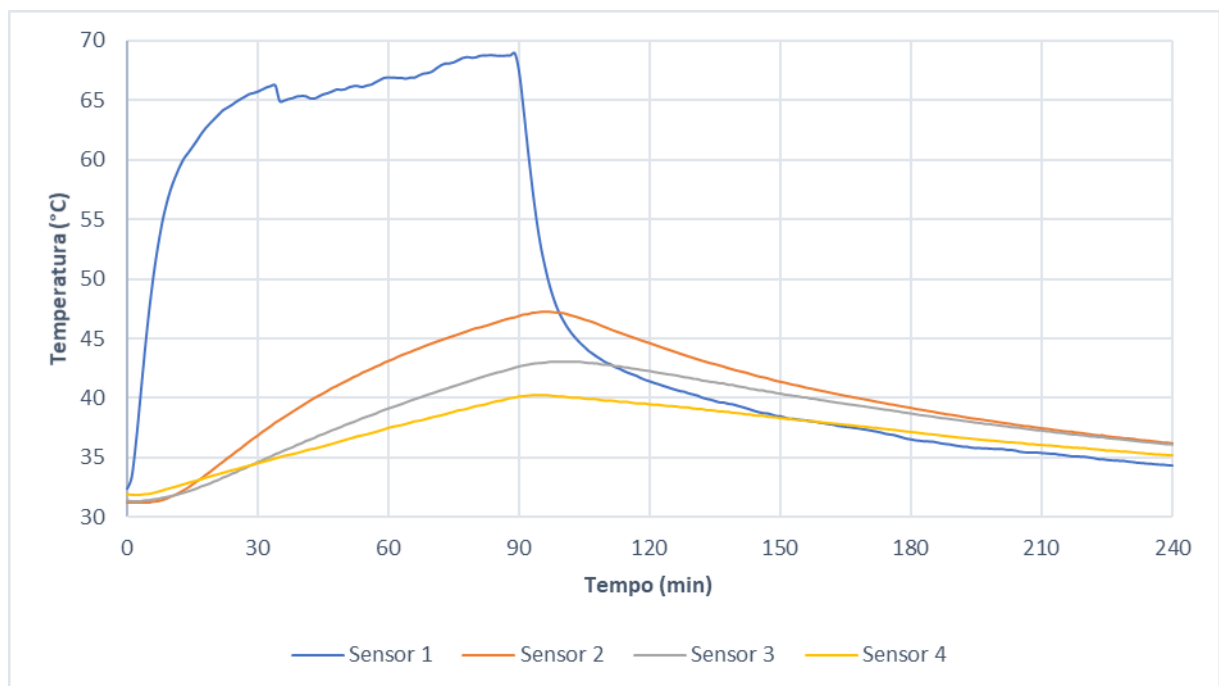
de 20°C já aos 30 minutos de ensaio, valor que subiu para 23°C aos 60 minutos e assim também estava aos 90 minutos.

Ao desligar a fonte de calor, acontece algo semelhante ao descrito no item 5.1.2, da diminuição das temperaturas de todos os pontos em estudo, indicando uma tendência de estabilização ao longo do tempo.

5.1.3 Traço 50%

O Traço 50% diz respeito às placas cimentícias que apresentam substituição de 50% do volume de argila por vermiculita em sua composição. Os resultados obtidos na análise do painel formado por estas placas foram mostrados no Gráfico 3.

Gráfico 3. Resultados obtidos para o Traço 50%.



Fonte: Autoria própria (2017).

É possível observar neste caso que o isolamento entre as placas do Sensor 1 ao Sensor 4 foi de aproximadamente 30°C tanto aos 30 minutos de ensaio, como aos 60 minutos e 90 minutos.

Quando foi desligada a fonte de calor, ocorreu algo atípico com relação aos demais traços analisados, que foi o fato de os sensores que correspondem aos pontos que ficam dentro

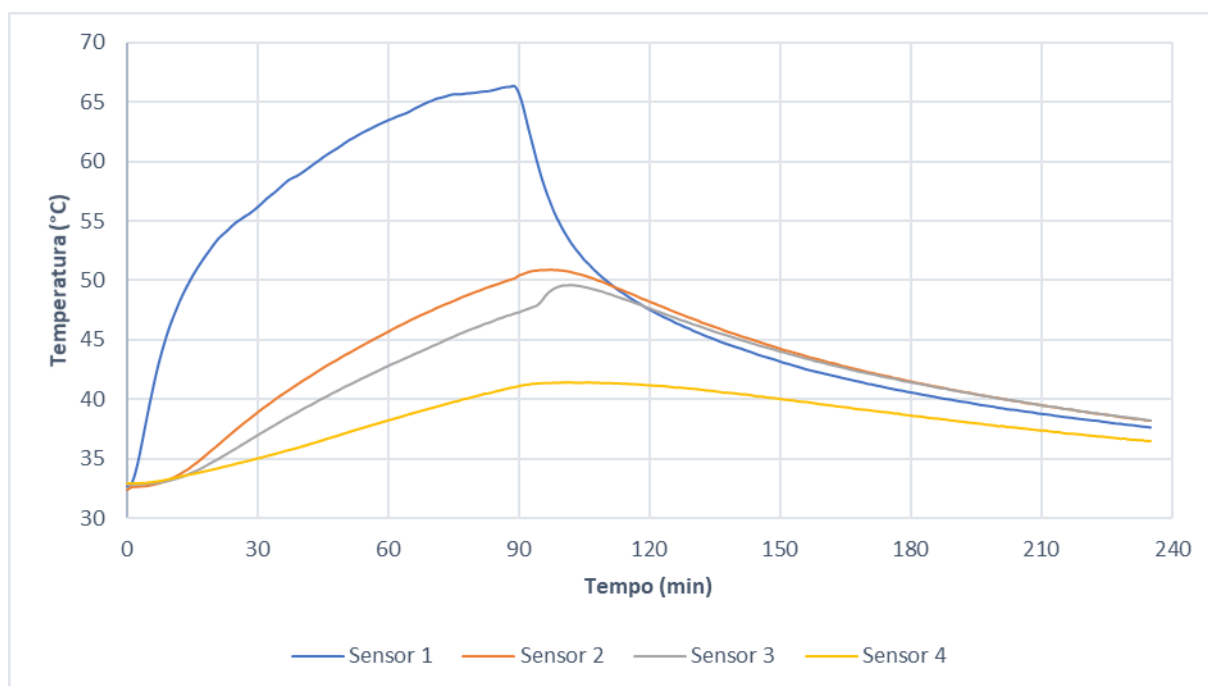
do painel (Sensor 2 e Sensor 3), apresentarem temperaturas superiores ao sensor que fica mais próximo da fonte de calor.

Provavelmente, isso se deve ao fato de estas placas terem apresentado rachaduras ao longo da sua superfície, propiciando a entrada do calor externo mais rapidamente para o ambiente interno.

5.1.4 Traço 75%

O Traço 75% refere-se as placas cimentícias que apresentam substituição de 75% do volume de argila por vermiculita em sua composição. Os resultados obtidos na análise do painel formado por estas placas foram mostrados no Gráfico 4.

Gráfico 4. Resultados obtidos para o Traço 75%.



Fonte: Autoria própria (2017).

Diante dos resultados deste gráfico, foi possível notar um isolamento de cerca de 21°C aos 30 minutos de ensaio, ampliando para aproximadamente 26°C aos 60 minutos e aos 90 minutos.

Pode-se observar ainda que, ao desligar a fonte de calor, os valores de temperaturas começam a decair de modo a tender a se estabilizar ao longo do tempo. Porém, pode-se notar

que também ocorre o fato descrito no item 5.1.3, com a diferença de que, neste caso, o calor não passou para o ambiente interno até o fim do ensaio.

Ou seja, enquanto no item 5.1.3 pôde-se observar, antes da tendência à estabilização das temperaturas verificadas, que o calor no ambiente interno ficou maior que no ambiente externo, no presente item isso não aconteceu.

5.2 ESTUDO MECÂNICO

5.2.1 Resistência à tração na flexão

Os resultados da ruptura dos corpos de prova para determinação da resistência à tração na flexão podem ser observados na Tabela 4, onde são mostrados os resultados de resistência individual de cada corpo de prova (CP 1, CP 2 e CP 3), a resistência média entre eles (CP Médio) e o desvio absoluto máximo (Desv. Abs. Máx.).

Tabela 4. Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão.

<i>Resistência à tração na flexão (MPa)</i>				
TRAÇOS	0%	25%	50%	75%
CP 1	0,99	0,82	0,82	0,66
CP 2	0,99	0,82	0,66	0,66
CP 3	0,82	0,82	0,82	0,66
CP Médio	0,93	0,82	0,77	0,66
Desv. Abs. Máx.	0,11	0,00	0,11	0,00

Fonte: Autoria própria (2017).

O desvio absoluto máximo da série de corpos de prova, segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005) corresponde à diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afasta dessa média para mais ou para menos. Como todos os desvios calculados são inferiores ao limite imposto pela NBR 13279 (ABNT, 2005), que é de 0,3 MPa no caso da resistência à tração na flexão, não se faz necessário recalcular a média das resistências.

Os relatórios gerados neste ensaio pelo *software* conectado à prensa utilizada para a ruptura dos corpos de prova podem ser visualizados no Anexo A deste trabalho.

Com estes resultados, pode-se observar que houve uma tendência à maior fragilidade dos corpos de prova à medida que se aumentou a porcentagem de substituição da argila pela vermiculita expandida, já que as resistências médias diminuíram.

Isso pode ser consequência da granulometria da vermiculita utilizada ou devido a grande quantidade de vazios existentes nesse material, conferindo pouca resistência à mistura.

5.2.2 Resistência à compressão

Procedendo-se da mesma maneira que no item 5.2.1, e mudando-se apenas a quantidade de corpos de prova de três para seis (CP 1, CP 2, CP 3, CP 4, CP 5 e CP 6), os resultados obtidos são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados do ensaio de resistência à compressão.

<i>Resistência à compressão (MPa)</i>				
TRAÇOS	0%	25%	50%	75%
CP 1	2,59	1,93	1,80	1,27
CP 2	2,24	1,98	2,15	1,23
CP 3	2,37	2,33	1,84	1,19
CP 4	2,20	1,84	1,76	1,23
CP 5	2,11	1,80	1,84	1,19
CP 6	2,59	2,02	1,84	1,10
CP Médio	2,35	1,98	1,87	1,20
Desv. Abs. Máx.	0,24	0,35	0,28	0,10

Fonte: Autoria própria (2017).

No caso da resistência à compressão, a NBR 13279 (ABNT, 2005) estipula o Desvio Absoluto Máximo como sendo 0,5 MPa, portanto, como em nenhum dos traços esse limite foi ultrapassado, não se faz necessário recalcular a média das resistências.

É notório o decréscimo nos valores médios de resistência à compressão à medida em que se aumenta a porcentagem de substituição da argila pela vermiculita expandida. Provavelmente, isso se deva ao fato do aumento dos poros na mistura, fragilizando-a.

Os relatórios gerados neste ensaio pelo *software* conectado à prensa utilizada para a ruptura dos corpos de prova podem ser visualizados no Anexo B deste trabalho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo dos resultados obtidos na análise térmica, foi possível notar que dentre os painéis analisados, o traço referente à 50% de substituição da argila por vermiculita expandida foi o que ofereceu o melhor conforto térmico no que diz respeito ao isolamento entre o ambiente externo e interno.

Nesse caso, seria possível sua utilização em edificações localizadas em regiões quentes, como o semiárido brasileiro, pois consegue isolar uma maior quantidade de calor proveniente do meio externo, possibilitando manter a temperatura interna bem inferior a externa nos horários mais quentes.

No âmbito do estudo mecânico, foi possível identificar que os resultados apresentaram desvios muito baixos, implicando em uma grande fidelidade dos dados. Observou-se neste estudo que as argamassas diminuíram tanto sua resistência à tração na flexão como sua resistência à compressão, à medida em que se aumentaram as porcentagens de substituição da argila por vermiculita expandida, fato justificado pela porosidade apresentada pela vermiculita, um agregado extremamente leve e que confere, desse modo, maior fragilidade à mistura.

Sugere-se investigar de forma mais aprofundada a viabilidade deste estudo. Para isso, se faz interessante, em estudos futuros, utilizar fibras na composição das placas, a fim de se evitar fissuras, rachaduras ou até rompimento das placas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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. 30 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11355**: Vermiculita expandida - Análise granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2015. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15498**: Placa de fibrocimento sem amianto - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2016. 24 p.

ARRUDA FILHO, Adilson Brito de. **Placas cimentícias reforçadas com tecidos estruturais de sisal**. 2015.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. São Paulo: LTC, 2000.

BERNARDI, Stefania Tesi. **Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibra de aramida kevlar**. 2003.

BEZERRA, Luciano André Cruz. **Análise do desempenho térmico de sistema constutivo de concreto com EPS como agregado graúdo**. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

BRASIL MINÉRIOS. **Nossa solução para seu segmento**. Construção Civil. 2016. Disponível em: <<http://brasilminerios.com.br/negocios/construcao-civil/>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

CARVALHO, Jéssyca Corrêa. Estudo comparativo entre fachadas em alvenaria de bloco cerâmico revestidas com argamassa e fachadas executadas com placas cimentícias. **Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2015.

CICHINELL, Gisele. Parede ou Vedação. **Téchne**. 2007. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/128/artigo285413-2.aspx>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

FGV PROJETOS. **Políticas permanentes de habitação: A importância do programa minha casa minha vida.** Rio de Janeiro, 2014. 24 slides. Disponível em: <<http://old.secovi.com.br/files/Arquivos/estudo-fgv---mcmv-0.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2017.

HEISE, André Falleiros. **Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solocimento em taipa de pilão.** 2004. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

LOPES, W.; INO, AKEMI. habitação em taipa de mão: alternativa de construção mais sustentável. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, p. 173-180, 2000.

MACEDO, M. C. *et al.* Materiais compósitos à base de gesso e isopor para construção de casas populares. **HOLOS**, v. 5, 2011.

MAIA, Leonardo R.; ANDRADE, Antonio Gil S.; FARIA, Obede B. Tecnologia na construção com terra – taipa de pilão e blocos de terra comprimida. **In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 16, 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti *et al.* O potencial sustentável dos sistemas leves na produção da habitação social. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 1, n. 2, p. 164-173, 2013.

MEHTA, P. Kummar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **CONCRETO: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008. 674 p.

MENDES, Diego Navarro. **Estudo de viabilidade técnica, econômica e socioambiental de sistema de vedação vertical externa a base de painéis cimentícios pelo método multicritério de tomada de decisão AHP.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MOLINA, Julio Cesar; CALIL JR, Carlito. Sistema construtivo em "wood frame" para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 31, n. 2, p. 143-156, 2010.

MOURA, João Marcos Bosi Mendonça de; MATOS, Lúcio Flávio da Silveira. Placas cimentícias à base de resíduos sólidos domiciliares. **Revista de estudos ambientais**, v. 17, n. 1, p. 54-63, 2015.

NASCIMENTO, Denise Morado; BRAGA, Raquel Carvalho de Queiroz. Déficit habitacional: um problema a ser resolvido ou uma lição a ser aprendida?. **Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo**, n. 9, p. 98-109, 2009.

PISANI, Maria Augusta Justi. Taipas: a arquitetura de terra. **Sinergia-Revista do Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo**, São Paulo, v. 5, n. 1, 2004.

SILVA, Aluizio Caldas. Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**, 2002.

SOUSA, Armindo José Coelho de *et al.* Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento em alvenarias. 2010.

SOUZA, Heloisa Maria Paes de. O conforto ambiental na arquitetura colonial brasileira: heranças muçulmanas. **ARCHITECTON-Revista de Arquitetura e Urbanismo**, v. 2, n. 3, 2016.

SPECK, Jaison Araujo. **Análise do desempenho de placas cimentícias através da adição de fibras e telas, visando a redução de deformações térmicas e patologias.** 2014.

SZNELWAR, José Jaime; SCALABRIN, Remo. **Ministério de Minas e Energia.** Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Produto 03: Vermiculita. 2009.

UGARTE, José Fernandes de Oliveira; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves. **Vermiculita.** 2005.

ZATT, Gustavo. **Fechamento de paredes de vedação: sistema Light Steel Frame utilizando placas cimentícias.** 2010.

