



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

RAFAELA KARLA FILGUEIRA DE ARAÚJO

**ESTUDO TÉRMICO E MECÂNICO DE PLACAS CIMENTÍCIAS, SIMULANDO
UMA ESTRUTURA DE *WOOD FRAME* COM USO DE VERMICULITA
EXPANDIDA E FIBRA DE SISAL**

Angicos/RN
2019

RAFAELA KARLA FILGUEIRA DE ARAÚJO

**ESTUDO TÉRMICO E MECÂNICO DE PLACAS CIMENTÍCIAS, SIMULANDO
UMA ESTRUTURA DE *WOOD FRAME* COM USO DE VERMICULITA
EXPANDIDA E FIBRA DE SISAL**

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

Orientador: Professor Dr. Kleber Cavalcanti
Cabral

© 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.

A658e Araújo, Rafaela Karla Filgueira de.
ESTUDO TÉRMICO E MECÂNICO DE PLACAS
CIMENTÍCIAS, SIMULANDO UMA ESTRUTURA DE WOOD
FRAME COM USO DE VERMICULITA EXPANDIDA E FIBRA DE
SISAL / Rafaela Karla Filgueira de Araújo. 2019.
75 f. : il.

Orientador: Kleber Cavalcanti Cabral.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

1. Propriedades mecânicas. 2. Conforto térmico.
I. Cabral, Kleber Cavalcanti, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RAFAELA KARLA FILGUEIRA DE ARAÚJO

**ESTUDO TÉRMICO E MECÂNICO DE PLACAS CIMENTÍCIAS, SIMULANDO
UMA ESTRUTURA DE *WOOD FRAME* COM USO DE VERMICULITA
EXPANDIDA E FIBRA DE SISAL**

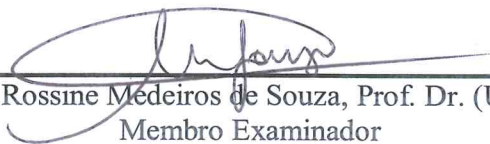
Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendido em: 20 / 03 / 2019.

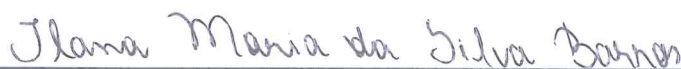
BANCA EXAMINADORA



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



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



Ilana Maria da Silva Barros (Engenheira Civil)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Dou início a esta página tão especial do trabalho agradecendo ao autor da vida e dono de toda ciência e, em hipótese alguma poderia ser de outra forma, pois devo tudo a Ele, meu Senhor Jesus Cristo. Foi Ele quem me deu a vida, me capacitou e me deu forças para conseguir concluir mais uma etapa de um sonho lindo. Te peço, Jesus, que nunca me deixes esquecer que tudo que tenho, tudo que sou e o que vier a ser vem de Ti.

De forma muito especial, agradeço aqueles que tornaram esse sonho possível, pois sem a ajuda deles eu não teria chegado até aqui.

Meus pais Girlene e José Carlos, minha irmã Rebeca e meu noivo Lucas... Não tenho palavras para agradecê-los por terem acreditado em mim, investido e segurado a minha mão nos momentos que sempre precisei. Vocês quatro são a minha força diária e os motivos pela qual tento ser melhor a cada dia. É olhando para cada um que eu encontro a resposta para tanta vontade de vencer e conquistar os meus objetivos, porque em vocês eu sempre tive apoio e muito amor. Vocês são os amores da minha vida! Gratidão eterna!

Agradeço também aos meus amigos e irmãos conquistados durante esses cinco anos, com vocês o fardo ficou mais leve e as noites em claro menos cansativas... Obrigada!

Com muito carinho, externo os meus agradecimentos à todos os servidores e professores desta instituição tão preparatória e acolhedora que é a UFERSA.

Sem dúvidas, minha enorme gratidão ao melhor professor que tive, e a qual tenho o privilégio de ser orientanda... Kleber Cavalcanti Cabral, agradeço-lhe por sempre ter tratado todos de forma igualitária, e nunca medir esforços para nos ajudar como profissionais e pessoas.

Agradeço aos membros da banca, o professor Wendell Rossine Medeiros de Souza e, a engenheira civil Ilana Maria da Silva Barros por todas as contribuições feitas ao trabalho. Grata!

A DEUS toda glória! Amém!

“Não andem ansiosos por coisa alguma, mas em tudo, pela oração e súplicas, e com ação de graças, apresentem seus pedidos a Deus.”

Filipenses 4:6

RESUMO

Diante da problemática envolvendo a escassez de moradias para famílias de baixa renda, na qual abrange a maior parte da população brasileira, faz-se necessário a buscas por alternativas que possibilitem a execução de moradias com custo reduzido, para que assim se possa beneficiar a maior quantidade possível da população carente. Dessa forma, o objetivo da presente pesquisa é analisar o desempenho térmico e mecânico de placas cimentícias simulando uma estrutura de *wood frame*, desenvolvidas com substituição do agregado miúdo por 0%, 25%, 50% e 75% de vermiculita expandida e 1000 ml de fibra de sisal em cada um dos traços, com o intuito de melhorar o conforto térmico dessas residências e obter placas com maiores resistência à tração. Para a análise das resistências, foram utilizado um protótipo que simula a irradiação solar sobre os painéis produzidos com placas desenvolvidas para cada traço, as quais foram unidas a uma estrutura de madeira que fazia a ligação de ambas. A Norma que regeu os ensaios referentes às propriedades mecânicas foi a NBR 13279:2005. Os resultados apresentaram uma melhoria no conforto térmico a partir do uso das placas cimentícias com todos os traços estudados, substituindo o agregado miúdo pela vermiculita expandida. Entretanto, os resultados também apresentaram uma diminuição das resistências à medida em que se aumentou a quantidade de vermiculita expandida. Considerando a análise geral da pesquisa, o traço de 50% conferiu um maior equilíbrio entre isolamento térmico e resistência à tração e à compressão.

Palavras-chave: Propriedades mecânicas. Conforto térmico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema wood frame.....	14
Figura 2. Modelo de fechamento.....	15
Figura 3. Edificação com utilização de placas cimentícias.....	16
Figura 4. Apresentação de fibras.....	21
Figura 5. Modelo de produção das placas cimentícias	23
Figura 6. Vermiculita super fina, fina e grossa.....	27
Figura 7. Classificação granulométrica.....	30
Figura 8. Materiais de baixa densidade.....	34
Figura 9. Os moldes e suas dimensões.....	35
Figura 10. Dispositivo para ensaios de determinação da resistência à compressão.....	35
Figura 11. Cimento utilizado na produção das placas.....	38
Figura 12. Agregado miúdo.....	39
Figura 13. Vermiculita expandida.....	39
Figura 14. Incorporação das fibras de sisal.....	40
Figura 15. Fôrmas utilizadas.....	43
Figura 16. Moldagem de duas placas para cada traço.....	43
Figura 17. Painel de vedação de um traço.....	44
Figura 18. Protótipo sem as placas cimentícias.....	45
Figura 19. Fonte de calor.....	46
Figura 20. Ligação dos sensores ao arduíno.....	46
Figura 21. Representação da locação dos sensores.....	47
Figura 22. Moldagem dos corpos de prova para os ensaios de resistência.....	48
Figura 23. Ensaio de resistência à tração na flexão.....	49
Figura 24. Ensaio de resistência à compressão.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Representação dos valores obtidos para o traço de 0%.....	51
Gráfico 2. Representação dos valores obtidos para o traço de 25%.....	52
Gráfico 3. Representação dos valores obtidos para o traço de 50%.....	53
Gráfico 4. Representação dos valores obtidos para o traço de 75%.....	54
Gráfico 5. Representação dos resultados de maior isolamento e resistência a tração.....	57
Gráfico 6. Representação dos resultados de maior isolamento e resistência à compressão....	58
Gráfico 7. Representação da média dos resultados das resistências.....	59

LISTA DE TABELAS E QUADRO

Tabela 1. Principais tipos de fibras do Mercado.....	22
Tabela 2. Determinação dos traços.....	41
Tabela 3. Quantitativo de materiais utilizados.....	42
Tabela 4. Resultados do ensaio de resistência à tração para todos os traços.....	55
Tabela 5. Resultados do ensaio de resistência à compressão para todos os traços.....	28

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1 CONSTRUÇÃO DE CASAS POPULARES COM <i>WOOD FRAME</i>	15
3.2 PLACAS CIMENTÍCIAS.....	17
3.2.1 Matérias-primas	18
3.2.2 Placas cimentícias compondo o sistema de vedação.....	23
3.2.3 Normalização	26
3.3 VERMICULITA EXPANDIDA	27
3.3.1 Definições e propriedades	27
3.3.2 Produção da vermiculita expandida no Brasil.....	28
3.3.3 Utilização da vermiculita expandida na construção civil.....	30
3.4 DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES	32
3.4.1 Propriedades Térmicas	33
3.4.2 Transferência de calor.....	34
3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS	35
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1 MATERIAIS	39
4.1.1 Cimento Portland	39
4.1.2 Agregado miúdo	39
4.1.3 Vermiculita expandida.....	40
4.1.4 Fibra de sisal.....	41
4.1.5 Água.....	41
4.2 MÉTODOS	42
4.2.1 Estudo térmico	42
4.2.2 Estudo mecânico.....	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1 ESTUDO TÉRMICO.....	52
5.1.1 Traço 0%	52
5.2.2 Traço 25%	53
5.2.3 Traço 50%	54
5.2.4 Traço 75%	55

5.2 ESTUDO MECÂNICO	56
5.2.1 Resistência à tração na flexão	56
5.2.2 Resistência à compressão	57
5.3 COMPARATIVO DOS RESULTADOS	58
5.3.1 Isolamento térmico x Resistência a tração.	58
5.3.2 Isolamento térmico x Resistência à compressão.	59
5.3.3 Resistência à tração x Resistência à compressão.	60
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXO A – RELATÓRIOS GERADOS: RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	66
ANEXO B – RELATÓRIOS GERADOS: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	70

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, segundo Luiz Kohara (2018), alcançou um crescimento populacional de 12,3% entre os anos de 2000 a 2010, nesse mesmo período houve um crescimento de 70% em residências sem a mínima estrutura. Esses dados mostram que mesmo quando a economia está em alta, a maioria da população não acompanha esse desenvolvimento, acarretando assim no avanço das popularmente denominadas favelas.

Essa realidade é explicada, como sendo consequência do nosso modelo de desenvolvimento urbano, no qual apenas poucos indivíduos possuem uma enorme concentração de terra, e a outra grande parte da população não tem direito de utilizá-las. Em São Paulo, por exemplo, nos anos de 2008 a 2015 o crescimento imobiliário foi de 250%, em contrapartida, o salário mínimo cresceu apenas 140% (KOHARA, 2018).

Mesmo diante das crescentes transformações ocorridas nos diversos segmentos da economia em busca de conhecimento, de aprimoramento em atividades relacionadas com as diversas funções do mercado de trabalho, com o objetivo de se alcançar lucros, desempenho adequado e promover o uso racional de materiais e insumos, essas transformações tem interferido significativamente na saúde do meio ambiente (KOHARA, 2018).

Por esse motivo, Kohara (2018) destaca a habitação social como solução para o déficit habitacional brasileiro, na qual “o acesso à moradia é um direito social garantido pela Constituição, no entanto, na prática dentro dos órgãos públicos, esse direito é tratado como uma mercadoria, que deve ser acessada conforme a capacidade de renda das pessoas.”.

Segundo estudos realizados pela Fundação Getúlio Vargas (2014), o Brasil deverá possuir “6,8 milhões de novos núcleos familiares até 2024, sendo 10 milhões destes com renda entre um e três salários mínimo.”. Diante da atual realidade, maior parte do déficit residencial alcança as famílias mais carentes, como mostrado anteriormente. Dessa forma, a redução de custos no processo construtivo de novos núcleos familiares se tornam indispensáveis.

Nessa concepção, o emprego de novos materiais possibilita a solução para problemas construtivos característicos da crescente necessidade por habitações de qualidade. Desse modo, torna-se possível reduzir os custos dos produtos, e consequentemente, dos serviços. As vantagens da junção de materiais alternativos com materiais convencionais vão além do custo, podendo melhorar propriedades importantes do produto desenvolvido.

Nesse sentido, a substituição completa ou parcial de materiais agressivos por aqueles que não venham a prejudicar tão agressivamente a natureza, torna-se uma necessidade. Nessa

busca por melhorias nas propriedades térmicas e mecânicas, alguns materiais se destacam por se apresentarem como excelentes isolantes térmicos, como é o caso da vermiculita expandida, e resistentes a tração e a flexão, como a fibra de sisal (UGARTE; SAMAPAIIO; FRANÇA, 2005).

A vermiculita, segundo Ugarte, Sampaio e França (2008), é um argilomineral da família das micáceas, encontrada em abundância no Brasil, sendo comumente utilizada em sua forma expandida na construção civil, com ênfase na produção de argamassas e concretos para isolante térmico e acústico. Enquanto que, as fibras naturais vem sendo comumente empregadas em diversos materiais, pois funcionam como reforço de matrizes poliméricas, substituindo assim as fibras sintéticas. Segundo Megiatto Júnior (2006), as fibras de sisal se destacam como sendo uma das fibras mais utilizadas no país, esse fato decorre de suas boas propriedades mecânicas.

Desse modo, o presente trabalho realizou uma revisão bibliográfica e experimental a respeito das propriedades técnicas e mecânicas dos materiais, com enfoque na vermiculita expandida e na fibra de sisal, com o objetivo de melhorar a qualidade das habitações.

Inicialmente, na etapa teórica da pesquisa, abordam-se considerações referentes à utilização de placas cimentícias como integrantes dos sistemas verticais de vedação e, posteriormente, tópicos referentes ao uso da vermiculita expandida e da fibra de sisal como opções de materiais que proporcionem melhorias no desempenho térmico destes sistemas. Também apresentou-se um estudo a respeito das propriedades térmicas e mecânicas destes materiais.

Após a fundamentação da pesquisa, iniciou-se à etapa experimental, que consiste em analisar com o auxílio de um software o desempenho térmico das placas em quatro formulações, variando a porcentagem de substituição do agregado miúdo pela vermiculita expandida (0%, 25%, 50% e 75%) e introduzindo o valor fixo de 1000 ml de fibra de sisal em cada traço.

Logo após, realizou-se os ensaios de determinação da resistência à tração na flexão e à compressão das placas cimentícias produzidas, com base na NBR 13279 (ABNT, 2005). E por fim, foram feitas as conclusões pertinentes aos resultados obtidos nos ensaios.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar térmica e mecanicamente placas cimentícias, simulando uma estrutura de *wood frame* com uso de vermiculita expandida e fibra de sisal

2.2 Objetivos específicos

- Estudo térmico de placas cimentícias com incorporação de vermiculita expandida e fibra de sisal;
- Estudo da resistência à compressão da argamassa com incorporação de vermiculita expandida e fibra de sisal;
- Estudo da resistência à tração da argamassa com incorporação de vermiculita expandida e fibra de sisal.

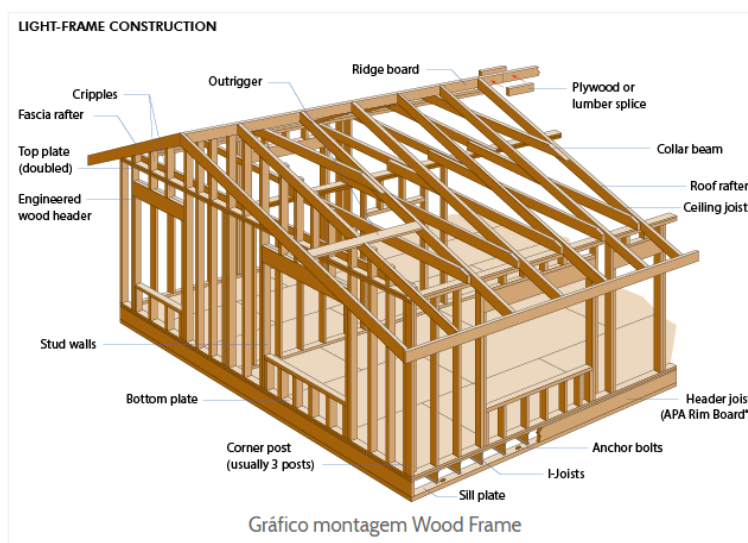
3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, serão expostos os resultados de pesquisas desenvolvidas por alguns profissionais da área da construção de moradias populares com estrutura de madeira (wood frame), como também serão abordadas as principais características da vermiculita expandida e da fibra de sisal, realizando uma breve explanação no que refere-se as propriedades térmicas e mecânicas destes materiais.

3.1 CONSTRUÇÃO DE CASAS POPULARES COM *WOOD FRAME*

Segundo Silva (2010), “o *wood frame*” são sistemas construtivos constituídos de estruturas de perfis leves de madeira maciça de *pínus spp*, contraventados com chapas estruturais de madeira transformada tipo OSB (Oriented Strand Board)”, como mostra a Figura 1. Segundo Meirelles *et al* (2013), são sistemas construtivos leves, e são considerados por muitos pesquisadores como sustentáveis, pois a produção de resíduo é mínima, em especial os sistemas industrializados que parte de uma montagem de componentes criteriosa.

Figura 1. Sistema *wood frame*.



Fonte: Construindodecor (2018).

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,

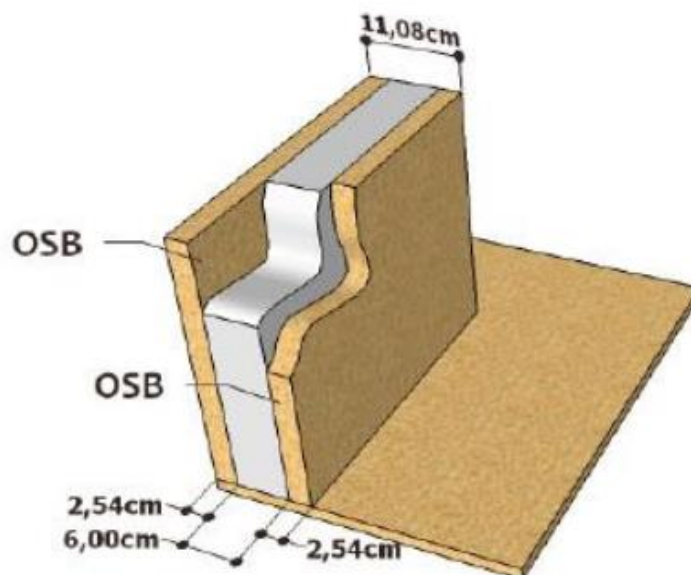
paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o fogo.

O sistema *wood frame* permite a construção de edificações de até cinco pavimentos com total controle dos gastos já na fase de projeto devido à possibilidade de industrialização do sistema. A madeira é utilizada, neste caso, principalmente como estrutura interna de paredes e pisos, proporcionando uma estrutura leve e de rápida execução. Entretanto, construções residenciais de até dois pavimentos são mais econômicas (MOLINA; CALIL JR., 2010).

Em países da América do Norte, Ásia e Europa, como Canadá, EUA, Japão e Alemanha, sistemas de casas em *wood frame*, de excelente qualidade, são amplamente adotados. Na América do Sul, países como o Chile e Venezuela investem com sucesso na indústria de casas populares com 40 a 65 m², e que também utilizam painéis *wood frame*, além de treliças de telhado pré-fabricadas (MOLINA; CALIL JR., 2010).

De acordo com Meirelles *et al* (2013), o fechamento mais aplicado nos Estados Unidos, Canadá e Chile são composições com duplo painel OSB (*Oriented Strand Board*), mostrado na Figura 2, 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.

Figura 2. Modelo de fechamento.



Fonte: Meirelles *et al* (2013).

Atualmente, no Brasil, existem algumas empresas brasileiras, instaladas no sul do país interessadas na construção de casas de madeira com implantação definitiva do sistema *wood frame*, sendo a Battistella Indústria e Comercio LTDA., com sede em Curitiba-PR, uma das pioneiras a implantar efetivamente o sistema de *wood frame* para casas de madeira de médio e alto padrão no Brasil (MOLINA; CALIL JR., 2010).

3.2 PLACAS CIMENTÍCIAS

Segundo Speck (2014), com o grande crescimento no setor de construção civil, surge uma oportunidade de introdução e comercialização de novos produtos como placas cimentícias, com ênfase na decoração e estética no segmento de revestimento para pisos e fachadas.

As placas cimentícias são materiais resultantes da mistura de cimento Portland, agregados, adições ou aditivos, podendo ainda serem reforçados com fibras, fios, filamentos ou telas. Segundo Cichinelli (2007), as mesmas “surgiram na década de 1970, mas foi a partir do desenvolvimento do mercado de construção seca que começaram a ser mais usadas no país.”.

Figura 3. Edificação com utilização de placas cimentícias.



Fonte: Cichinelli (2007).

Para a obtenção de bons resultados nas diversas aplicações, Zatt (2010) relata que 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 vidros”. Ainda de acordo com Zatt (2010), as placas cimentícias disponíveis no mercado são:

1)CRFS (Cimento Reforçado com Fios Sintéticos) – placas com cimento Portland, agregados naturais, celulose e fios sintéticos; 2)GRC ou GRFC (Glass Fiber Reinforced Concrete) – placas com cimento Portland, agregados e fibras de vidro resistentes a álcalis dispersos na matriz; 3)Placas com cimento Portland – agregados leves, reforçadas com telas de fibra de vidro nas superfícies.

Segundo 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.

No que refere-se aos cuidados em sua utilização como revestimento, Cichinell (2007) explica que 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.

Diante disso, o próximo tópico mostrará 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 Agregados

Agregados, de acordo com Serna e Rezende (2009), são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de engenharia civil, tais como, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha,

além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, entre outros.

Sendo um material abundante aqui no Brasil, os agregados são classificados como naturais ou artificiais. Sendo “os naturais os que se encontram de forma particulada na natureza (areia, cascalho ou pedregulho) e os artificiais são aqueles produzidos por algum processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno e argilas expandidas, entre outros.” (SERNA; REZENDE, 2009).

Segundo Bauer (2000), agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. Podendo ser encontrada a classificação dos agregados segundo a origem, a dimensão das partículas e o peso específico aparente.

A NBR 7211 (ABNT, 2005) – Agregados para concreto – Especificação - estabelece algumas características referentes ao recebimento e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, a mesma define areia ou agregado miúdo “como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm.”. A presente norma ainda define “agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.”.

Autores como Mehta e Monteiro (2208) afirmam a grande necessidade de se conhecer algumas características dos agregados, sendo estas: sua massa específica, umidade e composição granulométrica, com o principal objetivo de se fazer dosagem adequada. Eles ainda apresentam a importância de se especificar os limites granulométricos e a dimensão máxima do agregado, pois os mesmos influenciam diretamente na trabalhabilidade e o custo, já que as “areias muito grossas produzem misturas de concreto ásperas e não trabalháveis, e areias muito finas aumentam a demanda de água e, consequentemente, o consumo de cimento para uma dada relação água/cimento.”.

No que refere-se a produção de concreto, por exemplo, agregados de granulometria contínua, que são aqueles que não apresentam grande deficiência ou excesso de qualquer dimensão de partícula produzem as misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas. Todavia, a composição granulométrica dos agregados são fundamentais também para a dosagem de argamassas e compósitos cimentícios em geral (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

3.2.1.2 Cimento

O cimento é um ligante que ao ser misturado com água, enrijece. Originalmente, a palavra cimento vem do latim *caementum* e foi utilizado pela primeira vez pelos romanos (VIEIRA; VARELA, 2005).

A denominação Cimento Portland se deu por Joseph Aspdin em 1824, ao desenvolver uma mistura em temperaturas consideravelmente mais elevadas, entre 1400° a 1500°, produzindo assim materiais com resistências mecânicas superiores as demais, cor e algumas características que lembram as pedras da ilha Portland (VIEIRA; VARELA, 2005).

Nessa perspectiva, como definição, o cimento Portland é a convenção mundial do material conhecido, em qualquer construção civil, como cimento. O mesmo é um pó fino com propriedades aglomerantes e ligantes que, sob a ação da água, enrijece. Destaca-se também que, após seu ponto máximo de rigidez, o cimento Portland não se decompõe mais, independentemente de ser submetido ou não à ação da água (SILVA, 2011).

De acordo com Grande (2003), o cimento pode ser definido como:

[...] um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer, com adição de gesso (para regular o tempo de início de hidratação ou o tempo inicial de “pega”) e outras substâncias que determinam o tipo de cimento.

O cimento, de acordo com Silva (2011), possui propriedades de unir outros materiais e hidratar ao se misturar com água, adquirindo características de rocha artificial, tendo suas propriedades conservadas ao permanecer imerso em água por aproximadamente sete dias, após o processo de endurecimento.

No entanto, algumas propriedades afetam a sua reatividade com a água, como é o caso da sua finura. Por isso a NBR 11579 (ABNT, 2002) – 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)”.

3.2.1.3 Água

A água é utilizada em grande quantidade na fabricação dos mais diversos tipos de materiais de construção, como em argamassa, na cura do concreto, como componente de fabricação do concreto e até mesmo na compactação de aterros (FILHO NETO, 2017).

Conforme a NBR 10833 (ABNT, 2012), a recomendação apresentada para o processo produtivo é fazer uso de água livre de impurezas. Essa recomendação se deve ao fato, de acordo com a ABCP (2000), que a presença de impurezas na água, utilizada no processo de fabricação, pode ocasionar sérios problemas para a hidratação do cimento, indicando, portanto, o uso das águas potáveis.

Segundo o disposto na Portaria nº 2.914 de 12/12/2011 (BRASIL, 2011, p. 01), artigo 5º, inciso II, água potável é aquela “água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde”.

3.2.1.4 Aditivos e adições

Para uma melhor compreensão desse tópico, a ASTM C 125 (ASTM, 2001), de acordo com 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.”.

O objetivo da incorporação destes materiais à mistura é o melhoramento de algumas características, dentre elas, temos: o aumento da plasticidade sem aumentar o consumo de água, reduzir a exsudação e segregação, acelerar ou retardar o tempo de pega, acelerar as taxas de desenvolvimento da resistência nas primeiras idades.

3.1.2.5 Fibras

As fibras naturais têm sido comumente empregadas em diversos materiais, pois funcionam como reforço de matrizes poliméricas, substituindo assim as fibras sintéticas. Segundo Megiatto Júnior (2006), as fibras de sisal se destacam como sendo uma das fibras mais utilizadas no país. Esse fato decorre de suas excelentes propriedades mecânicas. As principais

indústrias responsáveis pela aplicabilidade das fibras de sisal são as de fios, cordas e mantas, como mostrará a Figura 4.

A obtenção das fibras de sisal ocorre por meio da extração do “Agave Sisalana”, planta nativa das regiões semiáridas do nordeste brasileiro. O sisal é uma fibra biodegradável, dessa forma os mesmos são portentosos substitutos dos plásticos e derivados do petróleo. Por conseguinte, além de colaborar com a proteção do meio ambiente, as fibras de sisal desenvolvem sustentavelmente as sociedades modernas (SILVA *et al.*, 2009).

Figura 4. Apresentação de fibras.



Fonte: Silva *et al.*, (2009).

Segundo Bernardi (2003), as fibras podem ser divididas em dois grupos:

Tabela 1. Principais tipos de fibras do mercado.

FIBRAS NATURAIS	FIBRAS SINTÉTICAS
Sisal	Aço
Côco	Polipropileno
Bananeira	Nylon
Palha de arroz	Carbano
	Poliéster
	Vidro
	Aramida
	Celulose
	PVA
	Borracha
	Polietileno
	Acrílico

Fonte: Autoria própria (2018).

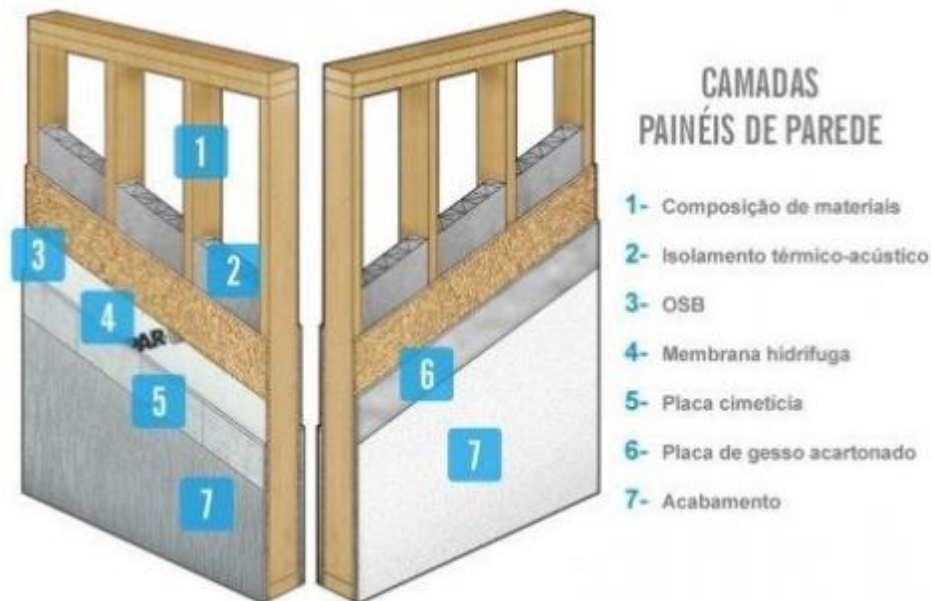
Tendo em vista sua disponibilidade e custos adequados, as fibras, tanto as naturais como as sintéticas, vem sendo utilizadas para a produção de componentes cimentícios esbeltos reforçados em substituição ao amianto, já que estudos comprovaram que este é nocivo à saúde. Entretanto, as pesquisas desenvolvidas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

3.2.2 Placas cimentícias compondo o sistema de vedação

As chapas cimentícias são um sistema de vedação de uso consagrado no hemisfério Norte, sendo estas constituídas a partir de uma mistura de cimento Portland, agregados, adições ou aditivos com reforço de fibras, fios, filamentos ou telas. A evolução desses materiais, possibilita uma maior precisão dimensional obtida pelos fabricantes e a possibilidade de

executar juntas invisíveis fez surgir um maior interesse entre os fabricantes (NAKAMURA, 2012). A Figura 5 mostra um sistema de vedação denominado de *wood frame*.

Figura 5. Modelo de um sistema de vedação.



Fonte: Tecverde (2014).

As vedações são as responsáveis pelo suporte e proteção das instalações prediais, além de proporcionar condições favoráveis de habitabilidade e segurança. Zatt (2010) afirma que “a vedação vertical é um dos principais subsistemas que condicionam o desempenho do edifício, sendo a principal responsável por características ligadas ao conforto higrotérmico e acústico”, entre outros.

No Brasil, a alvenaria foi o primeiro material utilizado em obras de médio e grande porte. Todavia, essa utilização só se deu a partir de uma determinada época (no ciclo econômico do café), mas a importância das vedações verticais no processo construtivo já era de conhecimento das empresas brasileiras.

Segundo estudos específicos, Zatt (2010) destaca que:

O emprego da alvenaria tradicional não é a solução mais apropriada, principalmente nas situações em que a velocidade da execução das vedações verticais seja um fator crítico na construção de edifícios. Empresas que buscam ganhos de produtividade e diminuição de perdas para serem competitivas no mercado precisam necessariamente investir na racionalização da produção das vedações verticais.

Dessa forma, tem-se a pré-fabricação como um importante meio tecnológico para avançar nos processos construtivos. Entretanto, especialistas como Zatt (2010) relatam os principais problemas que a indústria da construção enfrenta ao tentar inserir tecnologias racionalizadas para vedação:

- a) Imagem negativa de vedações pré-fabricadas junto aos usuários;
- b) Necessidade de mudanças na qualidade do processo de produção dos demais subsistemas;
- c) Necessidade de mudanças organizacionais nos processos de gestão de empreendimentos e de produção;
- d) Dependência de profissionais habilitados em todos os níveis;
- e) Dependência na fabricação de complementos e acessórios no Brasil;
- f) Necessidade de interação com os outros subsistemas construtivos;
- g) Comercialização apenas das tecnologias de vedação e não de soluções construtivas;
- h) Necessidade de precisão dimensional da estrutura e dos demais subsistemas;
- i) Utilização de painéis apenas de vedação.

A partir de todas estas limitações, Zatt (2010) passou a estudar um método específico de pré-fabricação, o Light Steel Frame (LSF) conjugado com placas cimentícias. O autor destaca que o LSF vem despertando grande interesse em profissionais da construção civil, para uso do mesmo como fechamento externo de fachadas para edifícios de múltiplo pavimento.

Fato decorrente das vantagens que o LSF apresenta em relação a alvenaria tradicional:

- a) o fechamento em LSF possui montagem simples;
- b) peso próprio baixo (implicando em alívio nas solicitações da estrutura principal e nas fundações);
- c) o transporte do sistema para o canteiro e dentro deste é fácil, uma vez que os elementos industrializados, como placas de acabamento, possuem dimensões pequenas;
- d) LSF é um sistema aberto, onde os elementos industrializados padronizados podem ser adaptados a qualquer exigência de projeto, diferente dos painéis em concreto, produzidos sob medida para cada tipo de obra.

Entretanto, o LSF apresenta como matéria-prima o aço, que mesmo sendo um material reciclável, possui um valor bem oneroso aqui no Brasil, já o *wood frame* a madeira, que além de ser um recurso renovável, reduz consideravelmente a emissão de gás carbônico no meio ambiente.

Os painéis de *wood frame* conjugado com placas cimentícias, de acordo com Ferreira (2009), surgiram da necessidade de se amenizar as variações dimensionais da madeira maciça, diminuir seu peso e custo, mantendo as propriedades isolantes térmicas e acústicas. Além disso, os painéis têm sua aplicação otimizada pelo aumento da sua superfície útil. O desenvolvimento tecnológico no setor de painéis à base de madeira tem proporcionado o aparecimento de novos produtos que vêm atender a demandas cada vez mais específicas.

A utilização desse sistema de vedação aqui no Brasil ainda é modesta, entretanto essa realidade pode mudar brevemente devido à preocupação sustentável estar, cada vez mais, sendo considerada na construção, além de apresentar vantagens econômicas, segundo as quais dizem que as construções residenciais de até dois pavimentos que utilizam o sistema *wood frame* são mais econômicas (MACIEL *et al.*, 2018).

Com as primeiras moradias construídas com *wood frame*, foi possível constatar prazo de execução até três vezes menor do que o de uma casa de mesma área em alvenaria. De acordo com a empresa, a matéria-prima em si, em comparação com a alvenaria, é 5% mais cara, porém esse aumento é compensado com a redução de custo com mão de obra, já que as etapas para construção são realizadas em menos tempo e necessita de menos trabalhadores. Outro fator que traz economia é a fundação, uma vez que a estrutura das casas em *wood frame* é mais leve (MACIEL *et al.*, 2018).

No que aborda a decoração e estética, Speck (2014) destaca em seu estudo uma falha quanto ao aspecto funcional das placas cimentícias para revestimentos de piso, que é o descolamento/destacamento das placas cimentícias assentadas e fissuras nas placas cimentícias aderidas. O autor destaca materiais e métodos de assentamento inadequados e inadequações das características funcionais como causadores das manifestações patológicas.

3.2.3 Normatização

De acordo com Cichinell (2007), o passo inicial em direção à padronização e qualidade dos produtos ofertados ao mercado brasileiro foi dado pela NBR 15498 (ABNT, 2016), cujo

título é Placa Plana Cimentícia sem Amianto - Requisitos e Métodos de Ensaio, que vigora desde agosto de 2007, é a primeira norma nacional a estabelecer os requisitos, métodos de ensaio e as condições de recepção das placas planas cimentícias reforçadas com fibras, fios, filamentos ou telas.

Segundo o autor, “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 intuito dos ensaios de aceitação é estabelecer se um lote de produto está conforme sua especificação. Para isso, devem ser efetuados “controle geométrico, resistência a tração na flexão e absorção de água.”.

Quanto aos ensaios de tipo, estes devem ser efetuados sobre o produto pronto, e demonstrar a conformidade do produto com as prescrições. Dessa forma, devem ser realizados: “resistência à tração na flexão, permeabilidade, envelhecimento acelerado por imersão em água quente, envelhecimento acelerado por imersão e secagem, comportamento sob a ação do fogo, variação dimensional por imersão e secagem e calor-chuva.”.

E por fim, os ensaios de recebimento, que são aqueles acordados entre o fabricante e o comprador, com base nos ensaios prescritos na Norma.

3.3 VERMICULITA EXPANDIDA

3.3.1 Definições e propriedades

A vermiculita expandida é um produto de origem mineral, onde a sua composição é decorrente da superposição de finíssimas lamínulas. As mesmas são submetidas em média a 800° C de temperatura, passando assim por uma grande expansão, podendo alcançar até 15 vezes mais do seu tamanho de origem (SANCHEZ, 2017).

Segundo Reis (2003), define-se vermiculita como sendo um mineral derivado de alteração supergênica de micas, com inúmeras aplicações na construção civil, indústria de manufaturados, agricultura, horticultura e meio ambiente. Mais especificamente: isolante

térmico, concreto leve e isolante de som, painéis e divisórias, portais a prova de fogo, agricultura hidropônica, condicionador de solos, fertilizantes, pesticidas, e absorvedores de óleo, graxas e metais pesados.

Por ser um produto de origem mineral, a Vermiculita Expandida é, portanto inorgânica, sendo também insolúvel em bases e ácidos fracos e solventes orgânicos, apresenta ainda um pH praticamente neutro (7,0) (SANCHEZ, 2017).

Suas principais características, segundo Sanchez (2017), são: baixa condutividade acústica, baixa densidade; baixa condutividade térmica; praticamente incombustível, tendo em vista que se funde a 1.315° C; não tóxica e não abrasiva; grande capacidade de retenção de água e troca iônica. A Figura 6 abaixo, mostrará em sequência as principais formas em que a vermiculita é utilizada.

Figura 6. Vermiculita super fina, fina e grossa.



Fonte: Sanchez (2017).

3.3.2 Produção da vermiculita expandida no Brasil

Atualmente, a vermiculita vem sendo utilizada em diversos setores industriais brasileiros, com as mais vastas funcionalidades, como mostrará o Quadro 1 com base nos estudos de Sanchez (2017), na qual foi possível constatar 13 setores que vem comumente aderindo a vermiculita em seus processos de produção, como também as aplicações ou principais características que despertaram interesse em emprega-las.

Quadro 1. Utilização da vermiculita em diversos setores aqui no Brasil.

Setores	Principais características ou aplicações
Construção civil	Eficiente isolante térmico-acústico e produção de concreto leve.
Siderurgia e fundição	Cobertura de metais líquidos e aços com baixo conteúdo de carbono.
Nutrição animal	Preparação de aditivos para ração animal.
Piscinas e saunas	Minimiza as trocas térmicas entre a piscina e o meio circulante.
Freios e fricção	Baixa abrasividade, resistência térmica, incombustibilidade e baixa reatividade química.
Agricultura	Regulariza os intervalos de irrigação, devido à grande capacidade de absorver água.
Sachês	Agrega essências ao produto, pois mantém o aroma por maior tempo.
Corta fogo	Resistência ao fogo.
Proteção termo-acústico	Isolação de altas temperaturas.
Indústria de materiais refratários	Grande versatilidade.
Placas de vermiculita expandida	Miolo das portas, divisórias corta fogo e revestimento aparente.
Tijolos isolantes	Baixo coeficiente de condutividade térmica.
Agrotil	Utilização em vasos, jardineiras, hortas e canteiros.

Fonte: Autoria própria (2018).

Sznelwar e Scalabrin (2009) relatam que mesmo a vermiculita sendo normalmente minerada a céu aberto, “podem ainda precisar de perfuração e desmonte 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.”.

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).

De acordo com Ugarte, Sampaio e França (2005), “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.”. E no que refere-se a produção, Sznelwar e Scalabrin (2009) destacam que “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.”.

3.3.3 Utilização da vermiculita expandida na construção civil

O comércio da vermiculita, segundo Reis (2003), representa um negócio mundial da ordem de US\$ 200 milhões ao ano, na qual o objetivo futuro deste negócio é projetado para atingir valores acima do crescimento econômico dos países de primeiro mundo.

Aqui no Brasil, a produção cresceu cerca de 36% nos últimos três anos, onde a produção são concentradas, principalmente, no centro oeste e no nordeste, sendo exportado 52% do output. A produção das minas do centro oeste é voltada ao mercado interno e as do nordeste para exportação. A vermiculita expandida no Brasil encontra dezenas de aplicações, incluindo: “isolante térmico e de som, concreto leve, painéis e divisórias internas, portais a prova de fogo, agricultura hidropônica, condicionador de solos, veículo para fertilizantes e pesticidas, e absorvedor de óleo, graxas e metais pesados.” (REIS, 2003).

Os produtores brasileiros, individualmente e em parceria com universidades, já estão envolvidos com algum desenvolvimento tecnológico a nível de beneficiamento e aplicativos na indústria de transformação. Entretanto, carecem de Centros Tecnológicos de referência nacional, pesquisadores especializados e laboratórios credenciados para análises físico-química. O Brasil carece ainda de estatísticas sobre vermiculita e especificações industriais. Por ser um produto de aplicativos razoavelmente recente, a vermiculita é pouco conhecida e divulgada no Brasil, sendo restrita a nichos alternativos-modernos (REIS, 2003).

Em geral, 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 alimentos para animais. As de granulometria mais grossa são utilizadas para fins de horticultura, cultivo e germinação de sementes, dentre outros.

O fluxograma abaixo apresenta uma classificação granulométrica de padrões de concentrados de vermiculita natural.

Figura 7. Classificação granulométrica.

Padrão Internacional	Tamanho (mm)	Padrão Americano	Tamanho (mm)	Padrão Brasileiro	Tamanho (mm)
Grossa	-8,0 + 2,8	1	-7,0 + 3,327	-	-
Média	-4,0 + 1,4	2	-3,5 + 1,75	Média	55-95% > 2,4
Fina	-2,0 + 0,71	3	-2,0 + 0,6	Fina	65-95% > 1,2
Superfina	-1,0 + 0,355	4	-0,85 + 0,212	Superfina	70-95% > 0,6
Micrometro	-0,71 + 0,25	5	-0,3	Micrometro	80-100% > 0,3

Fonte: Reis (2003).

Embora a vermiculita seja comercializada na sua forma natural, a sua utilização se faz, na maioria das vezes, na forma expandida. Na forma natural, a vermiculita é utilizada na fabricação de placas de isolantes em recobrimento de paredes e outros usos limitados

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. 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).

3.4 DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

Os estudos em conforto térmico visam principalmente analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente. A importância do estudo de conforto térmico, segundo Macedo *et al.* (2011) está baseada principalmente em 3 fatores:

a) A satisfação do ser humano ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável; b) A produtividade do ser humano, muito embora os resultados de inúmeras investigações não sejam conclusivos a esse respeito, e a despeito dessa inconclusividade, os estudos mostram uma clara tendência de que o desconforto causado por calor ou frio reduz a produtividade. As atividades intelectuais, manuais e perceptivas, geralmente apresentam um melhor rendimento quando realizadas em conforto térmico. c) A conservação de energia, pois devido à crescente mecanização e industrialização da sociedade, as pessoas passam grande parte de suas vidas em ambientes condicionados artificialmente. Ao conhecer as condições e os parâmetros relativos ao conforto térmico dos ocupantes em seus ambientes, evitam-se desperdícios com calefação e refrigeração, muitas vezes desnecessários.

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2003), o conforto térmico é a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente.”. Essa é a norma que vigora atualmente no Brasil, a mesma refere-se ao desempenho térmico das edificações. Sendo divididas em cinco partes: Definições, símbolos e unidades; Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações; Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida; Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Entretanto, tem-se a NBR 15575 (ABNT, 2013), intitulada *Edificações habitacionais – Desempenho*. A parte de Desempenho Térmico da NBR 15575 (ABNT, 2013), apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de coberturas e vedações, conforme definições, símbolos e unidades da NBR 15220-1 (ABNT, 2003) e NBR

15220-3 (ABNT, 2003). Os requisitos desta norma são praticamente os mesmos da NBR 15220 (ABNT, 2003), ou seja, “Apresentar transmitância térmica e absorptância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática.”.

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

Segundo Macedo *et al.* (2011), o objetivo de se combinar materiais cujas propriedades sejam distintas, é obter um composto onde as propriedades físicas e químicas dos constituintes se complementem, de forma a obter um material superior a qualquer um dos seus constituintes e adequado aos fins pretendidos.

Em termos de propriedades térmicas, Macedo *et al.* (2011) destaca que a “condutividade ou a difusividade térmica dos materiais (por exemplo, isolantes, materiais de edificações) são necessárias ao dimensionamento de elementos de isolamento, no desenvolvimento da aplicação de novos materiais e na simulação do desempenho térmico de edificações e de sistemas.”.

A NBR 15220-1 (ABNT, 2003) define propriedade térmica como sendo “Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (2).”. Já a resistência térmica é apresentada como “quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário.”.

Outra propriedade térmica relevante ao estudo é a difusividade térmica, ou seja, “quociente da condutividade térmica de um material pela sua capacidade de armazenar energia térmica.” (ABNT, 2003).

3.4.2 Transferência de calor

De acordo com Ordenes *et al.* (2008), “a temperatura está relacionada à quantidade de energia térmica ou calor num sistema. Na medida em que um sistema acumula calor, sua temperatura aumenta. Ao contrário, uma perda de calor provoca uma diminuição da temperatura do sistema.”. No que refere-se à sua escala microscópica, o calor “corresponde à agitação térmica de átomos e moléculas no sistema. Assim, uma elevação de temperatura corresponde a um aumento da velocidade de agitação térmica dos átomos.”.

Donoso (2008) destaca os três processos de transferência de calor, ou seja, o meio do calor passar de um lugar para o outro. São eles, por condução: a transferência ocorre através do meio; por convecção: a transferência ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento; por radiação térmica: toda superfície a uma temperatura maior que zero Kelvin, emite energia na forma de ondas eletromagnéticas.

Uma edificação absorve energia térmica do meio externo através dos mecanismos de radiação e convecção. 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. Em consequência da elevação da temperatura, haverá um fluxo de calor da face interna da parede para o ambiente interno, através dos mecanismos de radiação e de convecção (BEZERRA, 2003).

Ainda de acordo com Bezerra (2003), “para determinar a quantidade total de calor que deve ser extraída ou fornecida a um ambiente construído para proporcionar conforto térmico aos usuários, deve-se determinar a carga térmica do ambiente, ou seja, a soma de todos os acréscimos e perdas de energia através do envelope da edificação”. No entanto, os principais fatores que contribuem para a carga térmica de um ambiente construído são:

- a) Fatores climáticos: insolação, umidade, temperatura do ar externo;
- b) Fator humano: número de ocupantes, tipo de atividade;
- c) Fator arquitetônico: tipo de iluminação, equipamentos existentes, número de renovações do ar, e tipos de fechamentos.

A Figura 8 mostra alguns dos materiais e suas respectivas densidades, comumente utilizados, que possuem baixa densidade, baixa condutividade, principalmente devido à porosidade que apresentam. Neles, o ar confinado no interior dos poros dificulta a transferência de calor (MACEDO *et al.*, 2011).

Figura 8. Materiais de baixa densidade.

MATERIAL	DENSIDADE (g/ml)
EPS	0,025
Gesso	0,8
Cimento	1,2
Areia Fina	1,4

Fonte: Macedo *et al.* (2011).

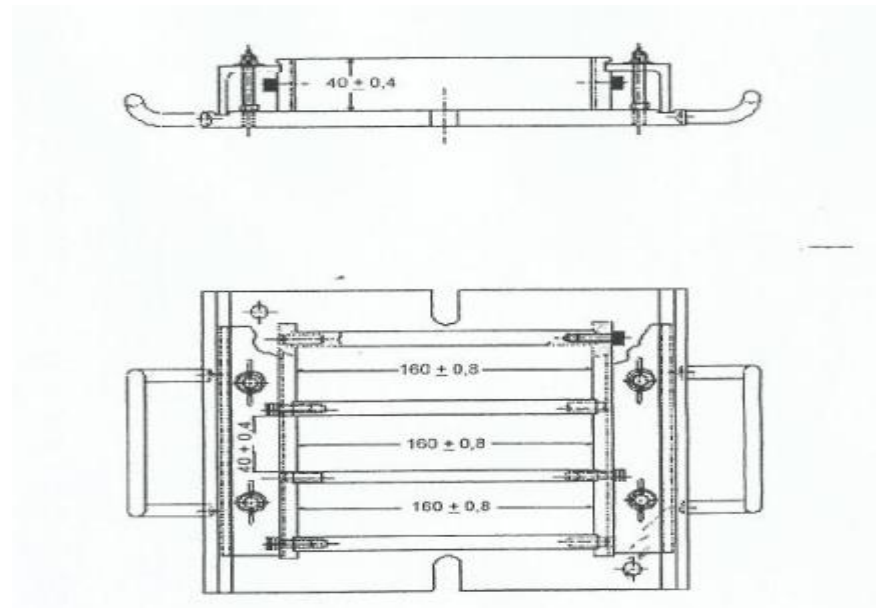
3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), cujo título é argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, a mesma 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.

Dessa forma, a presente norma orienta a preparação de três corpos de prova para cada traço em estudo. Imediatamente após o preparo da argamassa, com o molde fixo a mesa de adensamento, introduzir, diretamente, em cada compartimento do molde, uma porção de argamassa. Com o auxílio do lado maior do nivelador de camadas, proceder ao espalhamento da argamassa em cada compartimento, formando uma camada uniforme. Em seguida, aplicar 30 quedas através da mesa de adensamento.

Depois da moldagem dos corpos de prova, procede-se a ruptura dos mesmos, em geral na idade de 28 dias. A Figura 9 mostra como são os moldes.

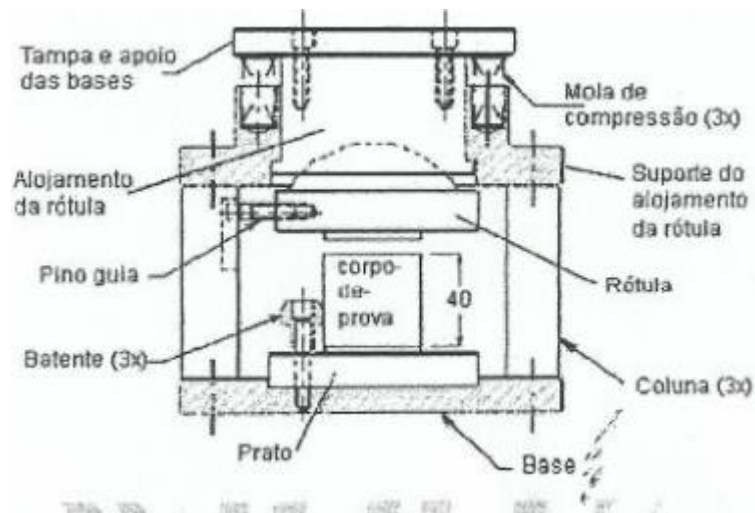
Figura 9. Os moldes e suas dimensões.



Fonte: NBR 13279 (ABNT, 2005).

Após a ruptura dos três corpos-de-prova produzidos para cada traço, com o intuito de se determinar a resistência à tração na flexão, são utilizadas as metades dos corpos-de-prova rompidos para a determinação da resistência à compressão, como mostra a Figura 10.

Figura 10. Dispositivo para ensaios de determinação da resistência à compressão.



Fonte: NBR 13279 (ABNT, 2005).

O dispositivo de carga deve ser capaz de aplicar uma carga de 500 N/s. Deve ser provido de um dispositivo indicador construído de forma que o valor indicado no momento da ruptura permaneça indicado depois da máquina de ensaio ter sido descarregada.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa, que apresenta caráter teórico e experimental, consistiu em investigar as propriedades térmicas de placas cimentícias com adição de vermiculita expandida e utilizando fibra de sisal para a construção de habitações populares em *wood frame*.

Nessa perspectiva, para a construção das placas, foi substituído o agregado miúdo convencional por vermiculita expandida, nas proporções de 25%, 50% e 75%, como também foi introduzido 1000 ml de fibra de sisal cortadas com 5 cm de comprimento em todos os traços. Além disso, foram feitas as placas de referência, sem vermiculita expandida e sem fibras de sisal, para análise comparativa dos dados obtidos.

As placas foram moldadas em fôrmas de madeira com dimensões 35cm x 30cm x 3cm. Após a moldagem, as placas foram deixadas em cura úmida por 7 dias, e só então, desmoldadas. Em seguida, foram construídas quatro paredes de *wood frame*, cada uma constituída por duas placas e uma estrutura de Madeira.

Para finalizar, fez-se à análise térmica de cada painel, com a consequente coleta e análise dos dados, como também 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 Mizu Cimentos. Este é comercializado em sacos de 50 kg. Foi escolhido este tipo de cimento devido sua frequente utilização nas obras locais.

Figura 11. Cimento utilizado na produção das placas.



Fonte: Autoria Própria (2018).

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

4.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado nas argamassas é oriundo do município de Angicos – Rio Grande do Norte (FIGURA 12).

Figura 12. Agregado miúdo.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Foi tomado o cuidado de retirar os materiais orgânicos existentes na amostra a ser utilizada, para que não houvesse interferências 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 para substituir parcialmente o agregado miúdo é proveniente de uma indústria localizada no Estado de São Paulo, como mostra a Figura 13.

Figura 13. Vermiculita expandida.



Fonte: Autoria Própria (2018).

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

4.1.4 Fibra de sisal

A fibra de sisal foi incorporada à mistura com o objetivo de evitar a quebra das placas durante a desmoldagem e realização dos ensaios.

Figura 14. Incorporação das fibras de sisal.



Fonte: Autoria própria (2018).

O material foi adquirido na região de Angicos, no formato de rolos.

4.1.5 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 compreendeu quatro etapas, que serão apresentadas nas subseções abaixo.

4.2.1.1 Produção das argamassas

Inicialmente, determinou-se o traço referência como sendo 1:3 (cimento:agregado), em volume. Em seguida, estudou-se a substituição do agregado por vermiculita expandida nas porcentagens de 25%, 50% e 75%, com o intuito de se obter um entendimento do comportamento dessas misturas a cada substituição, e por fim, em todos os traços foram acrescentados 1000 ml de fibra de sisal, afim de se obter um aumento de resistência.

Na Tabela 2 abaixo serão apresentados a determinação dos quatro traços que foram estudados no decorrer desta pesquisa.

Tabela 2. Determinação dos traços.

Traço	Caracterização da mistura estudada (volume)			
	Cimento	Agregado	Vermiculita	Água
0%	1,00	3,00	0,0	2,3
25%	1,00	2,25	0,75	2,3
50%	1,00	1,50	1,50	2,3
75%	1,00	0,75	2,25	2,3

Fonte: Autoria própria (2018).

Os traços mostrados na tabela acima trazem às formulações com substituição do agregado por vermiculita expandida e fibra de sisal, nas proporções de 0%, 25%, 50% e 75%. Em relação a quantidade de água, a mesma foi determinada pela exterioridade da mistura, ao encontrar a trabalhabilidade adequada para ser aplicada.

Na tabela acima não contém a determinação das fibras, pois as mesmas foram fixadas em 1000 ml para todos os traços.

4.2.1.2 Conformação, desmoldagem e cura

Estabelecidos os traços, iniciou-se as misturas com o auxílio do misturador mecânico do laboratório da UFERSA – Campus Angicos. A princípio, fez-se a mistura dos materiais secos, e em seguida, foi adicionando gradativamente à água e as fibras, misturando até a completa homogeneização dos materiais constituintes. A Tabela 3 irá mostrar a quantidade de material referente a cada traço, com exceção das fibras de sisal que foram fixadas em 1000 ml para cada traço estudado.

Tabela 3. Quantitativo de materiais utilizados.

Traço	Quantidade de materiais (em ml)			
	Cimento	Agregado	Vermiculita	Água
0%	1000	3000	0	2300
25%	1000	2250	750	2300
50%	1000	1500	1500	2300
75%	1000	750	2250	2300

Fonte: Autoria própria (2018).

A quantidade de cimento, agregado, vermiculita e água foram medidas com o auxílio de uma proveta graduada de um litro de volume, já para as fibras utilizou-se uma balança, ambas pertencentes ao laboratório do Campus Angicos. Para a moldagem dos blocos, foram utilizadas fôrmas de madeira produzidas por professores da instituição, e também pertencentes ao laboratório de Engenharia Civil. Estas fôrmas apresentam dimensões de 35cm x 30cm x 3cm, como mostra a Figura 15.

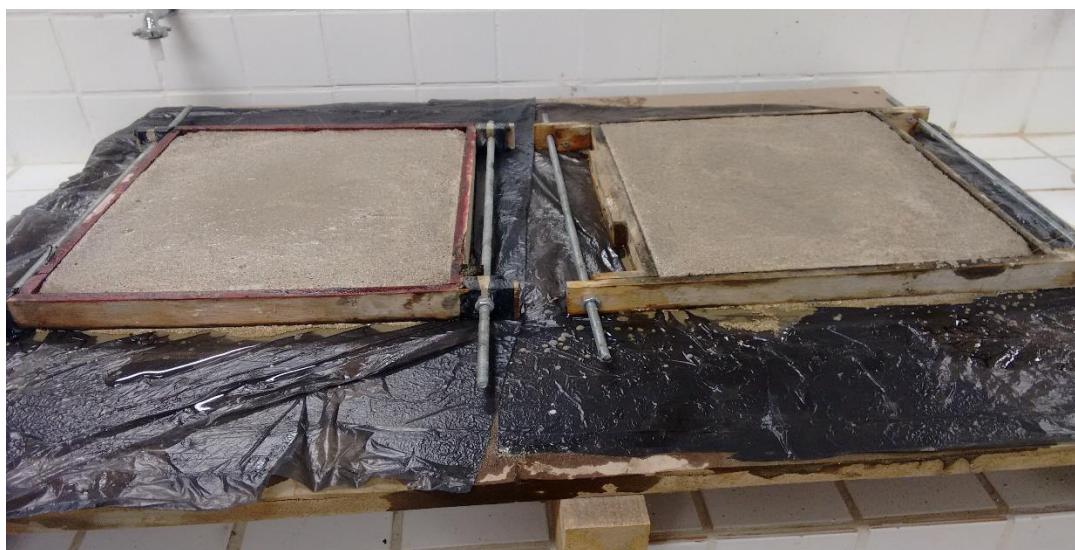
Figura 15. Fôrmas utilizadas.



Fonte: Autoria própria (2018).

Cada traço apresentado na Tabela 4 foi responsável por preencher duas das fôrmas utilizadas, como mostrará a Figura 16.

Figura 16. Moldagem de duas placas para cada traço.



Fonte: Autoria própria (2018).

As placas foram desmoldadas após passarem-se 24 horas, logo após iniciou o processo de cura, a temperatura ambiente, até a data em que foi feita a análise térmica ou seja, 14 dias.

4.2.1.3 Confecção dos painéis de vedação

A Figura 17 abaixo mostra a confecção de um dos painéis de vedação, que foi realizado após os 14 dias necessários de cura, compostos por duas placas, com uma estrutura interna de madeira unindo os dois blocos.

Figura 17. Pannel de vedação de um traço.



Fonte: Autoria própria (2018).

Sendo feita a ligação entre a estrutura de madeira e as placas de vedação através de parafusos.

4.2.1.4 Análise térmica

Posteriormente a execução dos painéis, realizou-se a análise térmica por intermédio de um experimento com um protótipo. Sendo protótipo “algo feito pela primeira vez e, muitas vez, copiado ou imitado; modelo, padrão, cânone.”. O objetivo da análise era de se obter o desempenho térmico das placas cimentícias moldadas.

A Figura 18 mostra a caixa térmica de madeira que foi utilizada na produção do protótipo, a mesma possui dimensões de 80cm x 59cm x 48cm. Juntamente à caixa térmica foi introduzida uma fonte de calor e uma divisória em seu interior, ambas. Para a fonte de calor,

fez-se uso de três lâmpadas infravermelhas de 250 Watts, sendo estas escolhidas por irradiar elevadas temperaturas.

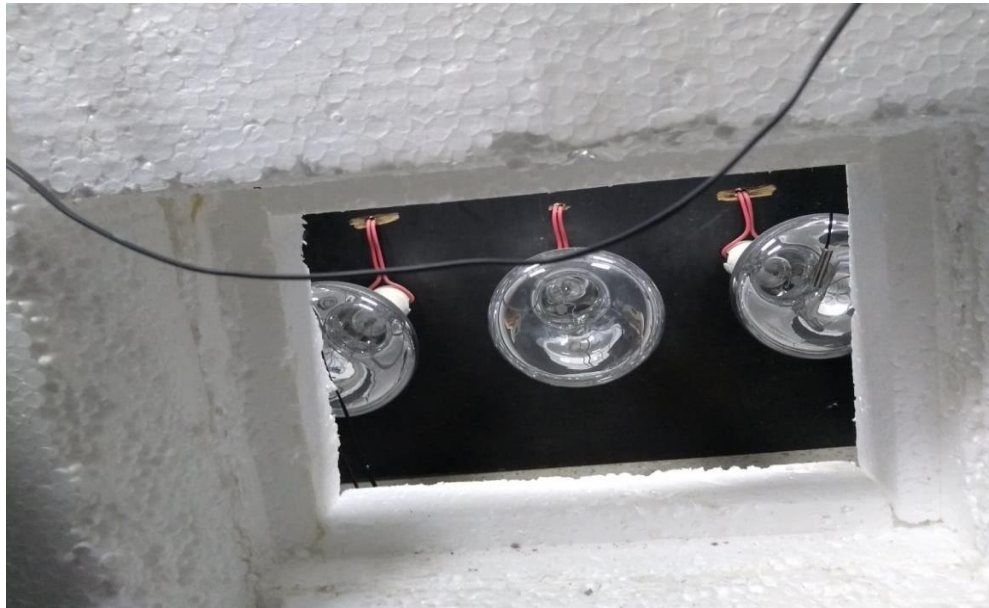
Figura 18. Protótipo sem as placas cimentícias.



Fonte: Autoria própria (2018).

Desse modo, o intuito do protótipo é simular o ambiente externo e o efeito da temperatura externa nas edificações, por meio da fonte de calor instalada pelas lâmpadas, como mostrará a Figura 19. Todavia, o ambiente interno, que representa o interior das edificações são retratados através das faces internas das placas.

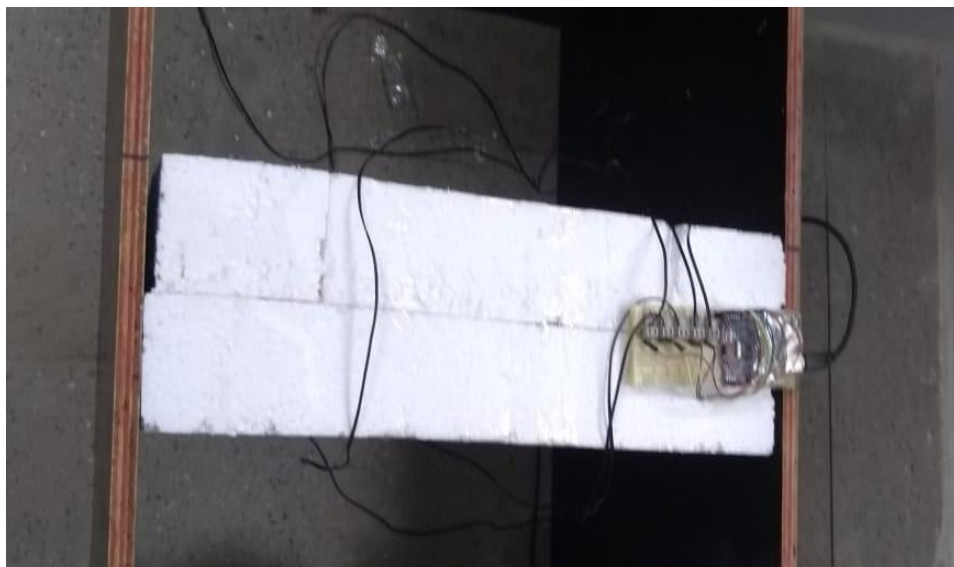
Figura 19. Fonte de calor.



Fonte: Autoria própria (2018).

Para o melhor entendimento desses dois ambientes, instalou-se uma placa de isopor transversalmente no meio da caixa de madeira para receber as duas placas para a análise. Com o auxílio de um *software* denominado *CoolTerm* e de quatro sensores ligados a um arduíno, e conectados ao computador, fez-se a leitura das variações térmicas.

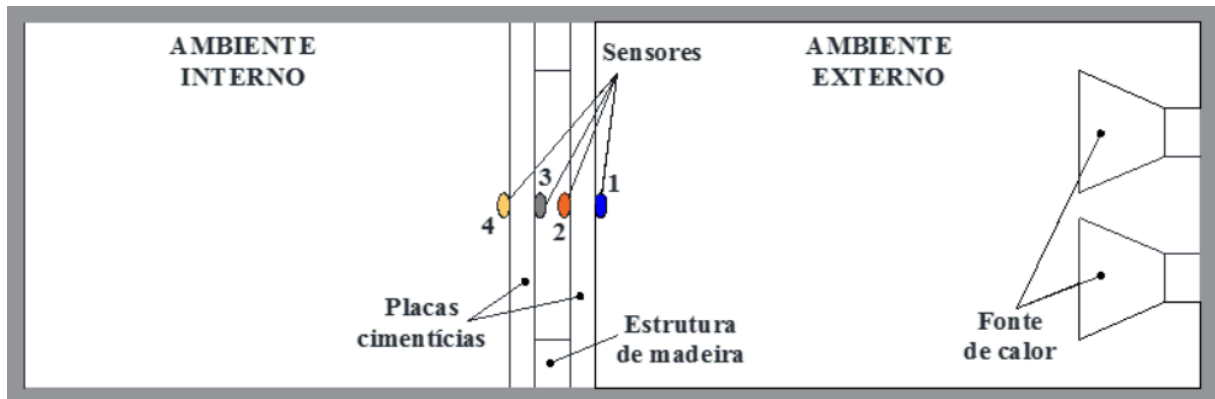
Figura 20. Ligação dos sensores ao arduíno.



Fonte: Autoria própria (2018).

Os sensores ligados ao arduíno, foram posicionados de forma previamente definidos, como mostrará a Figura 21. Em relação a execução da análise, as medidas foram obtidas ao longo de 60 minutos e, as leituras por minuto, através do *software*.

Figura 21. Representação da locação dos sensores.



Fonte: Sousa (2017).

No que refere-se a vedação, nenhuma parte (interna ou externa) do protótipo precisou ser vedada, pois o mesmo foi construído de madeira e não necessita ser isolado.

O ambiente externo do protótipo se destaca por ter a influência da temperatura natural do ambiente e da fonte de calor inserida. Para uma obtenção de dados com menor interferência possível, as análises foram feitas no mesmo horário e ambiente, sob condições muito semelhantes e com pouca influência externa.

4.2.2 Estudo mecânico

Essa etapa da pesquisa foi desenvolvida de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), intitulada *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*. Os tópicos abordados serão a moldagem dos corpos de prova e os ensaios de determinação da resistência à tração e à compressão.

4.2.2.1 Moldagem dos corpos de prova

Além da moldagem das placas cimentícias nas fôrmas de madeira, utilizou-se outras fôrmas de tamanho menor para a moldagem de três corpos de prova, cujas dimensões foram 4x4x16 cm para cada traço estudado. Para isso, foi necessário aplicar uma camada de óleo mineral nas fôrmas, com o intuito de facilitar a desmoldagem para ruptura.

Figura 22. Moldagem dos corpos de prova para os ensaios de resistência.



Fonte: Autoria própria (2018).

Após o preenchimento de cada divisória do molde, realizou-se o espalhamento uniforme da argamassa, assim como o seu adensamento, através de 30 golpes no molde sobre a bancada de adensamento. Quando adensado, requereu uma quantidade a mais de argamassa para o completo preenchimento do molde, dessa forma, fez-se necessário a aplicação de mais golpes para uniformizar o material.

Para finalizar e submeter os corpos de prova aos ensaios necessários, os mesmos ficaram conformados por 24 horas e, após 14 dias em cura úmida, foram então desmoldados.

4.2.2.2 Ensaio de determinação da resistência à tração na flexão

Conforme a Figura 23 abaixo, cada corpo de prova foi colocado nos dispositivos de apoio do equipamento.

A carga aplicada foi de 50 N/s até a ruptura do corpo de prova e, através do software ligado à prensa, foi possível obter a resistência à tração na flexão, sem fazer uso da equação apresentada na NBR 13279 (ABNT, 2005).

Figura 23. Ensaio de resistência à tração na flexão.



Fonte: Sousa (2017).

Assim como na análise térmica, os corpos de prova foram submetidos a ruptura na idade de 14 dias.

4.2.2.3 Ensaio de determinação da resistência à compressão

Os corpos de prova são partidos ao meio durante a realização do ensaio anterior, sendo uma de suas metades utilizadas para o ensaio de determinação da resistência à compressão.

Dessa forma, uma dessas metades foi colocada no dispositivo de apoio do equipamento, conforme a Figura 24.

Figura 24. Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Sousa (2017).

Assim como no ensaio anterior, através do software ligado à prensa, foi possível obter os resultados da resistência à compressão, sem fazer uso da equação apresentada na NBR 13279 (ABNT, 2005).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados e analisados os resultados alcançados através da etapa experimental, como descrita na metodologia.

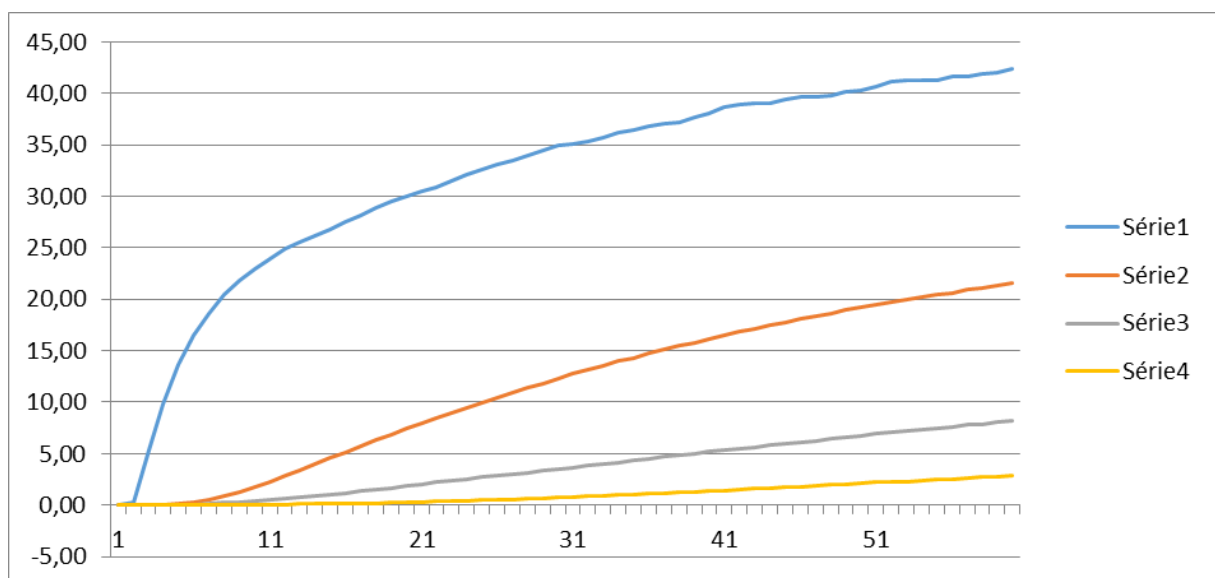
5.1 ESTUDO TÉRMICO

Os resultados do estudo térmico foram subdivididos em quatro seções (Traço 0%, Traço 25%, Traço 50% e Traço 75%) para uma melhor compreensão do comportamento apresentado por cada painel isoladamente.

5.1.1 Traço 0%

O Gráfico 1 apresenta os resultados obtidos pela análise do Traço 0% (referência), ou seja, as placas cimentícias desenvolvidas não possuem vermiculita expandida em sua composição. No entanto, todos os traços possuem fibra de sisal.

Gráfico 1. Representação dos valores obtidos para o traço de 0%.



Fonte: Autoria própria (2019).

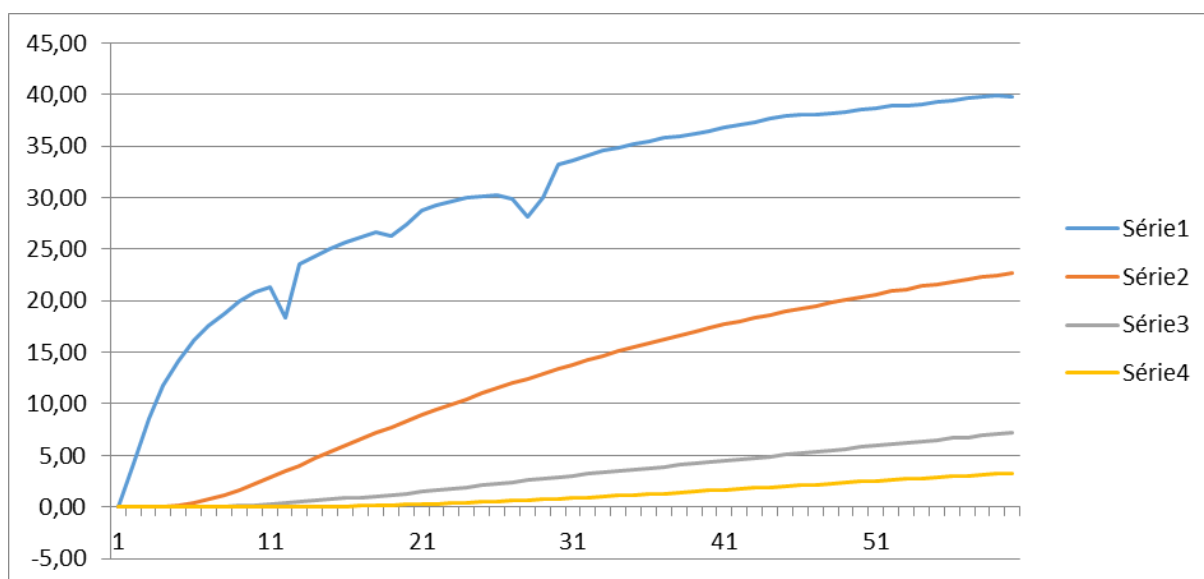
Na análise deste traço de referência, pode-se verificar um considerável distanciamento entre a parte externa mais próxima da fonte de calor e a placa que representa o ambiente interno, ambas demonstradas pelas (Séries 1 e 4). A diferença de temperatura das duas séries partiu de 34°C aos 30 minutos para 39°C aos 60 minutos. Dessa forma, o maior valor de isolamento foi de 39°C aos 60 minutos.

Sendo possível perceber que mesmo após os 60 minutos as temperaturas dos quatro pontos analisados se mantiveram estáveis, sem diminuição ou qualquer alteração na ordem dos sensores.

5.2.2 Traço 25%

O Gráfico 2 apresenta os resultados da análise correspondente às placas cimentícias desenvolvidas com o Traço 25%, ou seja, possuem substituição de 25% do volume de agregado miúdo por vermiculita expandida, como também 1000ml de fibra de sisal em sua composição.

Gráfico 2. Representação dos valores obtidos para o traço de 25%.



Fonte: Autoria própria (2019).

A análise deste traço de 25% mostra também um significativo distanciamento entre a representação dos dois ambientes (Séries 1 e 4). A diferença de temperatura das duas séries

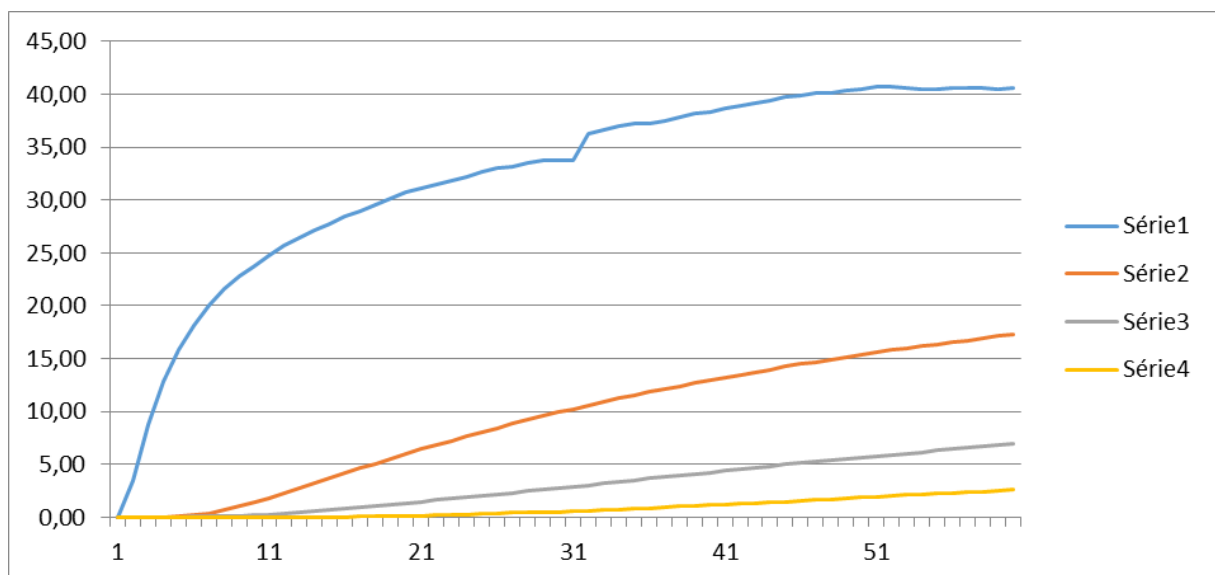
partiu de 34°C aos 30 minutos para 36°C aos 60 minutos, sendo 38°C o maior valor de isolamento deste traço.

Após os 60 minutos as temperaturas dos quatro pontos analisados se mantiveram estáveis, sem diminuição ou qualquer alteração na ordem dos sensores.

5.2.3 Traço 50%

O Gráfico 3 apresenta os resultados da análise correspondente às placas cimentícias desenvolvidas com o Traço 50%, ou seja, possuem substituição de 50% do volume de agregado miúdo por vermiculita expandida, como também 1000 ml de fibra de sisal em sua composição.

Gráfico 3. Representação dos valores obtidos para o traço de 50%.



Fonte: Autoria própria (2019).

Neste traço ainda se pode verificar um contínuo distanciamento entre a (Série 1) e a (Série 4), eles que representam o ambiente mais externo, ou seja, de maior contato com a fonte de calor instalada no protótipo, e o ambiente mais interno, representando assim o interior de uma residência.

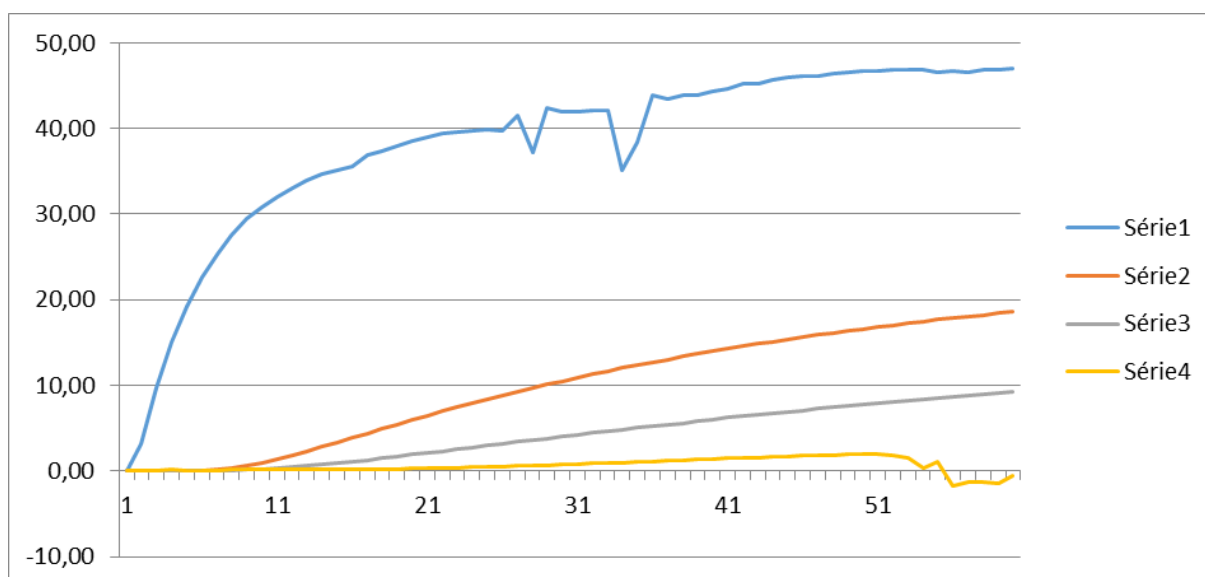
Nos primeiros 30 minutos de análise, a diferença de temperatura foi de aproximadamente 36°C, enquanto que aos 60 minutos foi de 38°C, sendo estes 38°C aos 60 minutos o maior valor de isolamento do referente traço analisado.

Logo após os 60 minutos os sensores se mantiveram estáveis e em sua ordem de calor, assim como o traço anterior analisado.

5.2.4 Traço 75%

O Gráfico 4 apresenta os resultados da análise correspondente às placas cimentícias desenvolvidas com o Traço 75%, ou seja, possuem substituição de 75% do volume de agregado miúdo por vermiculita expandida, como também 1000 ml de fibra de sisal em sua composição.

Gráfico 4. Representação dos valores obtidos para o traço de 75%.



Fonte: Autoria própria (2019).

Como visto nos traços anteriores, a diferença de temperatura entre o sensor mais externo e o mais interno é bastante significativa, variando neste traço de 42°C aos 30 minutos para 48°C aos 60 minutos, sendo este o isolamento máximo do traço.

Diante disso, o traço de 75% é a melhor alternativa analisada na presente pesquisa no que refere-se ao isolamento, pois além de manter a estabilidade após os 60 minutos, o isolamento térmico dos ambientes são os maiores entre os analisados.

5.2 ESTUDO MECÂNICO

5.2.1 Resistência à tração na flexão

Na Tabela 4, pode-se observar os resultados da ruptura dos corpos de prova para obtenção da resistência à tração na flexão, assim como também serão apresentados:

- CP 1, CP 2 e CP 3 = resistência individual para cada corpo de prova;
- CP Médio = a resistência média entre eles;
- Desv. Abs. Máx. = o desvio absoluto máximo.

Tabela 4. Resultados do ensaio de resistência à tração para todos os traços.

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)				
TRAÇOS	0%	25%	50%	75%
CP 1	1.81	1.48	1.32	0.82
CP 2	2.14	1.65	1.15	0.82
CP 3	1.98	1.65	1.15	0.99
CP Médio	1.98	1.59	1.21	0.88
Desv. Abs. Máx	0.17	0,11	0,11	0,11

Fonte: Autoria própria (2018).

De acordo com a NBR (ABNT, 2005), “o desvio absoluto máximo da série de corpos de prova é a diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média para mais ou para menos. O valor obtido deve ser arredondado ao décimo mais próximo.”.

A norma também refere-se especificamente a resistência à tração na flexão, “quando o desvio absoluto máximo for superior a 0,3 MPa, deve ser calculada uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o no relatório de ensaio, com asterisco.”.

Os valores apresentados acima mostraram uma resistência gradativamente menor dos corpos de prova (CP 1, CP 2 e CP 3) à medida que se aumentou a quantidade de vermiculita expandida e, conseqüentemente, diminuiu-se o agregado miúdo. Mesmo com a quantidade fixa de fibra de sisal utilizada para todos os traços, a conseqüente diminuição de resistência pode ser explicado devido à grande quantidade de vazios que existem na vermiculita expandida, o que confere baixa resistência para os corpos de prova.

Os relatórios gerados neste ensaio pelo *software* podem ser visualizados no Anexo A deste trabalho.

5.2.2 Resistência à compressão

Neste item, serão analisados seis corpos de prova (CP 1, CP 2, CP 3, CP 4, CP 5 e CP 6), e para um melhor entendimento, os resultados serão mostrados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados do ensaio de resistência à compressão para todos os traços.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				
TRAÇOS	0%	25%	50%	75%
CP 1	4.74	3.21	2.46	1.93
CP 2	5.80	3.78	2.50	2.15
CP 3	1.01	2.64	2.46	1.84
CP 4	4.66	2.99	2.81	2.33
CP 5	5.05	3.69	2.24	1.80
CP 6	4.13	2.99	2.71	2.06
CP 7 Médio	4.20	3.21	2.53	2.02
Des. Abs. Máx	1.60	0,57	0,28	0,31

Fonte: Autoria própria (2018).

De acordo com a NBR (ABNT, 2005), no que refere-se a resistência à compressão, “quando o desvio absoluto máximo for superior a 0,5 MPa, deve ser calculada uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o no relatório de ensaio, com asterisco.”

Com os valores apresentados na Tabela 5, é possível perceber uma diminuição da resistência à compressão, igualmente a resistência a tração. De maneira que, ao aumentar a quantidade de vermiculita expandida, diminui-se a capacidade de resistência à compressão da peça, fato decorrente dos poros presentes na mistura devido à vermiculita.

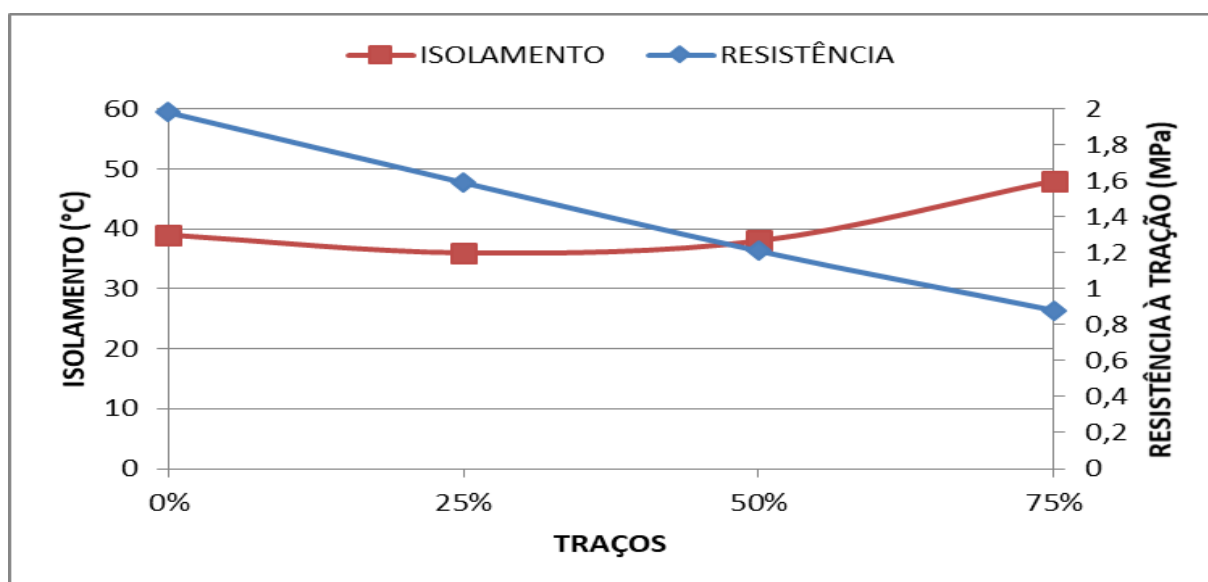
Os relatórios gerados neste ensaio pelo *software* podem ser visualizados no Anexo B deste trabalho.

5.3 COMPARATIVO DOS RESULTADOS

5.3.1 Isolamento térmico x Resistência a tração.

O Gráfico 5 apresenta um comparativo entre os maiores valores de isolamento térmico obtido através das análises, como melhor apresentado no tópico 5.1, e os valores de resistência à tração verificados a partir dos ensaios de ruptura, mostrados no tópico 5.2.

Gráfico 5. Representação dos resultados de maior isolamento e resistência a tração.



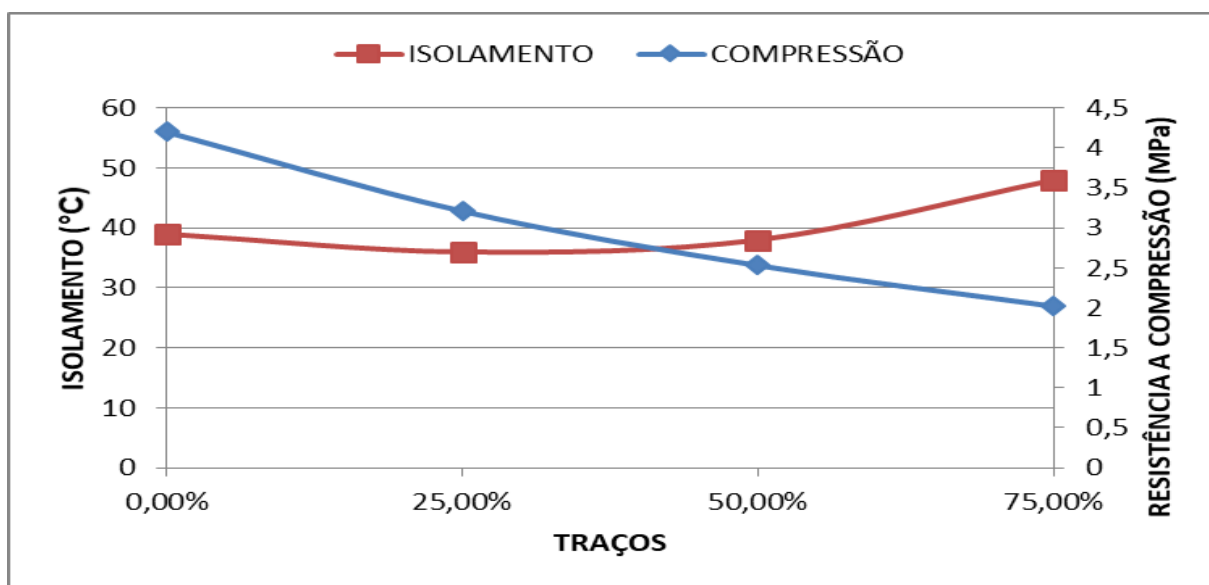
Fonte: Autoria própria (2019).

Como visto, os traços (0%, 25%, 50% e 75%) apresentaram isolamentos de (39°, 36°, 38° e 48°) respectivamente. Analisando apenas termicamente os painéis, o que melhor se comportou foi o de 75%, pois proporcionou um melhor conforto térmico na simulação da residência. No entanto, a medida em que se aumentou a proporção, a resistência à tração dos painéis decaiu significativamente, fato esse que pode ser explicado também pela substituição do agregado miúdo pela vermiculita expandida, pois por ser um material mais frágil, ela interfere consideravelmente na resistência à tração. Esses resultados não devem ser atribuídos às fibras, pois foi utilizado a mesma quantidade para todos os traços.

5.3.2 Isolamento térmico x Resistência à compressão.

O Gráfico 6 apresenta um comparativo entre os maiores valores de isolamento térmico obtido através das análises, como melhor apresentado no tópico 5.1, e os valores de resistência à compressão verificados a partir dos ensaios, mostrados no tópico 5.2.

Gráfico 6. Representação dos resultados de maior isolamento e resistência à compressão.



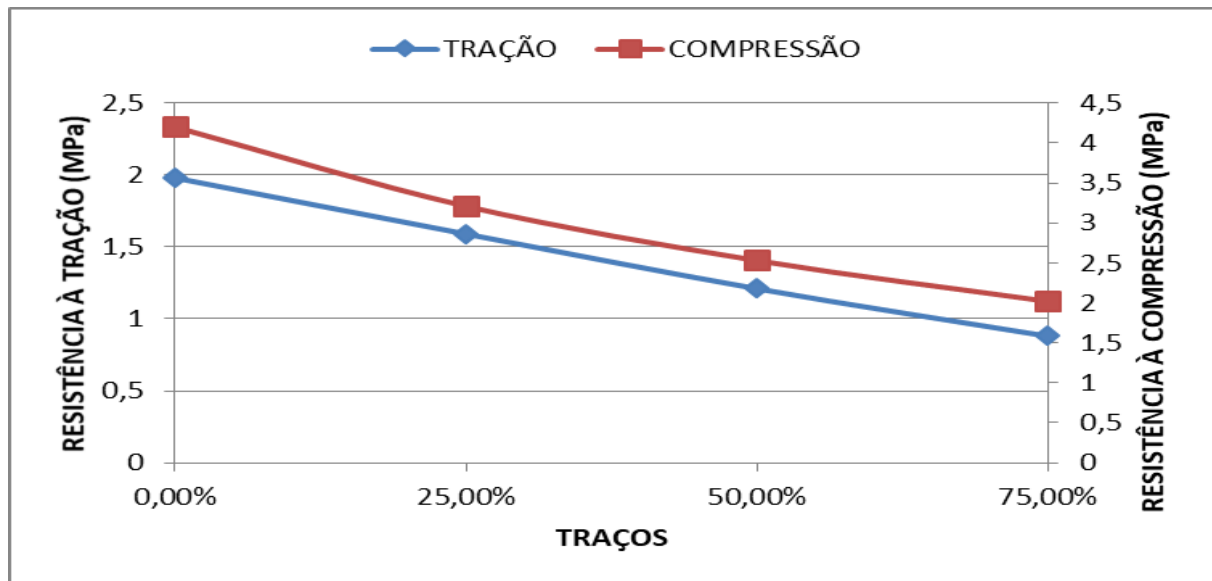
Fonte: Autoria própria (2019).

Da mesma forma, se analisarmos termicamente o traço de 75% se sobressai em relação aos demais. No entanto, a resistência à compressão de cada painel diminui à medida em que se aumenta a vermiculita expandida, isso devido à fragilidade do material ser maior do que a do agregado miúdo comumente utilizado.

5.3.3 Resistência à tração x Resistência à compressão.

O Gráfico 7 apresenta um comparativo entre a média das resistências à tração e à compressão, verificadas a partir dos ensaios, mostrados no tópico 5.2.

Gráfico 7. Representação da média dos resultados das resistências.



Fonte: Autoria própria (2019).

Como verificado no gráfico, as resistências foram comprometidas com o aumento da vermiculita expandida na mistura. A resistência à tração, por exemplo, passou de 1,98MPa no traço de referência para 0,88MPa no de 75%, e a resistência à compressão se apresentou da mesma forma, com uma queda de 4,20MPa para 2,02MPa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da análise feita por meio da obtenção dos resultados térmicos, foi possível constatar que todos os traços estudados (0%, 25%, 50% e 75%) apresentaram resultados positivos, pois conseguiram atingir um isolamento térmico mínimo de 34°C obtido no traço de referência até o máximo de 48°C com o traço de maior substituição da vermiculita expandida.

Tendo em vista os resultados obtidos, seria completamente viável a execução dessas residências em *wood frame*, com substituição do agregado miúdo por vermiculita expandida e incorporação de fibra de sisal, aqui em nossa região do semiárido brasileiro, por exemplo, na qual as temperaturas são bastante elevadas, proporcionando assim um bom isolamento térmico dos ambientes internos.

Em relação à análise mecânica, pôde-se constatar que a medida em que se aumentou a quantidade de vermiculita na mistura da argamassa, as placas apresentaram uma menor resistência à tração e à compressão. Os valores portanto, não se mostraram satisfatórios, fato justificado pela porosidade apresentada pela vermiculita, um agregado extremamente leve e que confere, desse modo, maior fragilidade à mistura.

Sendo assim, sugere-se investigar de forma mais aprofundada a viabilidade deste estudo, com ênfase nas resistências. No entanto, com a utilização de fibra de sisal, evitou-se o aparecimento de fissuras, rachaduras ou até rompimento das placas.

E por fim, com base na análise do isolamento térmico e considerando de suma importância os comportamentos de resistência à tração e à compressão que foram apresentados, o traço que melhor se destaca para a realização do objetivo principal desta pesquisa é o de 50%, pois o mesmo confere um maior equilíbrio entre isolamento e resistência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 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 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 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica: Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais**. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000.16p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C125. Standart Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. West Conshohocken: ASTM, 2001

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. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BEZERRA, Luciano André Cruz. **ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SISTEMA CONSTRUTIVO DE CONCRETO COM EPS COMO AGREGADO GRAÚDO**. 2003. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília/DF, 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm >. Acesso em: 19 nov. 2018.

BRASIL MINÉRIOS. **Nossa solução para seu segmento**. Construção Civil. 2016. Disponível em: < <http://brasilminerios.com.br/negocios/construcao-civil/> >. Acesso em: 12 jan. 2019.

CICHINELL, Gisele. Parede ou Vedação. **Téchne**. 2007. Disponível em: < <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/128/artigo285413-2.aspx> >. Acesso em: 02 dez. 2018.

DONOSO, José Pedro. **Calor, energia e transferência de calor**. Disponível em: < http://www.ifsc.usp.br/~donoso/fisica_arquitetura/Transferencia_de_Calor.pdf >. Acesso em: 13 jan. 2019.

FERREIRA, O. P. (Org.). Instituto de Pesquisas Tecnológicas (São Paulo). Madeira: uso sustentável na Construção Civil. São Paulo: IPT/SVMA/SindusCon - SP, 2009. 10 p.
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: 24 nov. 2018.

FILHO NETO, Antônio. **Água como Material de Construção**. Disponível em: < <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=31&Cod=266> >. Acesso em: 25 nov. 2018.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de Tijolos Modulares de Tijolos de Solo-Cimento por Prensagem Manual com e sem Adição de Sílica Ativa**. 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado Arquitetura e Urbanismo), EESC-USP, São Carlos, 2003. KOHARA,

Luiz. **Crise habitacional é consequência do modelo de desenvolvimento urbano:** alta concentração de terra e grande parcela da população sem acesso.. Disponível em: < <http://www.ihu.unisinos.br/159-noticias/entrevistas/578931- crise-habitacional-e-consequencia-do-modelo-de-desenvolvimento-urbano-entrevista-especial-com-luiz-kohara> >. Acesso em: 20 dez. 2018.

LASERNA, Humberto Almeida de; REZENDE, Márcio Marques. **Agregados para a Construção Civil.** Disponível em: < <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais> >. Acesso em: 17 fev. 2019.

MACEDO, M. C. et al. MATERIAIS COMPÓSITOS À BASE DE GESSO E ISOPOR PARA CONSTRUÇÃO DE CASAS POPULARES. **Holos**, Santa Cruz - Rn, v. 5, n. 27, p.95-105, dez. 2011.

MACIEL, Diego Lima de Oliveira et al. SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL – PAINÉIS DE MADEIRA. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Alagoas, v. 4, n. 3, p.1-8, maio 2018.

MEGIATTO JÚNIOR, Jackson Dirceu. **Fibras de sisal: estudo de propriedades e modificações químicas visando a aplicação em compósitos de matriz fenólica.** Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75131/tde-25102007-110438/pt-br.php> >. Acesso em: 21 dez. 2018.

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

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.

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.

NAKAMURA, Juliana. **Sustentabilidade e novas tendências da construção.** Disponível em: < [file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Documents/TFG%20Eng.%20Civil/Nakamura%20\(2012\).html](file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Documents/TFG%20Eng.%20Civil/Nakamura%20(2012).html) >. Acesso em: 22 fev. 2019.

ORDENES, Martin; LAMBERTS, Roberto; GUTHS, Saulo. **TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA ENVOLVENTE DA EDIFICAÇÃO.** 2008. 41 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

REIS, Elpidio. **VERMICULITA NO BRASIL: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS**. São Paulo: Ministério da Ciência e Tecnologia - Cgee, 2002.

SANCHEZ, Carlos Alberto Ramos. **Vermiculita Expandida**. Disponível em: < <http://www.refratil.com.br/produto/vermiculita-expandida> >. Acesso em: 10 jan. 2019.

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

SILVA, Benigno da. **Sistemas Construtivos: Wood frame** - construções com perfis e chapas de madeira. Disponível em: < [file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Documents/TFG%20Eng.%20Civil/Silva%20\(2010\).html](file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Documents/TFG%20Eng.%20Civil/Silva%20(2010).html) >. Acesso em: 14 jan. 2019.

SILVA, Camila Cruz da et al. DESENVOLVIMENTO DE TECIDOS DE SISAL PARA UTILIZAÇÃO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS. **Holos**, Natal, v. 4, n. 1, p.12-19, fev. 2019.

SILVA, Mauro Valério da. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado Ciências, Tecnologia Nuclear), Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SOUSA, Ádna Érica Melo de. **ESTUDO TÉRMICO E MECÂNICO DE PLACAS CIMENTÍCIAS DE REVESTIMENTO UTILIZANDO VERMICULITA EXPANDIDA**. 2017. 69 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró - Rn, 2017.

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.

TECVERDE. **Construções eficientes**. Disponível em: < <http://www.tecverde.com.br/a-tecverde/#historia> >. Acesso em: 21 jan. 2019.

UGARTE, José Fernandes de Oliveira. Rochas e Minerais Industriais. In: UGARTE, José Fernandes de Oliveira; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves. **Vermiculita**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2008. Cap. 38. p. 865-887.

VARELA, Noel; VIEIRA, Fernando Sales. Cimento: uma matéria-prima essencial no fabrico de argamassas. In: I CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO. Lisboa, 2005.

ZATT, Gustavo. **FECHAMENTO DE PAREDES DE VEDAÇÃO: SISTEMA LIGHT STEEL FRAME UTILIZANDO PLACAS CIMENTÍCIAS**. 2010. 71 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ANEXO B – RELATÓRIOS GERADOS: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia

Relatório de Ensaio

Máquina: Emic SSH300 Célula: Trd 30 Extensômetro: - Data: 29/08/2017 Hora: 14:22:36 Trabalho n° 1306
Programa: Tesc versão 3.04 Método de Ensaio: Compressão 4x4
Ident. Amostra: >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>> Referência:: ADNA ARGAMASSA 07-03-2018 compressão

Corpo de Prova	Força @Força Max. (kgf)	Área (cm ²)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	773.97	16.00	4.74
CP 2	945.96	16.00	5.80
CP 3	164.83	16.00	1.01
CP 4	759.64	16.00	4.66
CP 5	824.13	16.00	5.05
CP 6	673.64	16.00	4.13
CP 7	659.31	16.00	4.04
Número CPs	7	7	7
Média	685.9	16.00	4.204
Mediana	759.6	16.00	4.656
Desv.Padrão	249.1	0.0000	1.527
Coef.Var.(%)	36.32	0.0000	36.32
Mínimo	164.8	16.00	1.010
Máximo	946.0	16.00	5.798

