



FRANCISCO YGOR MOREIRA MENEZES

**AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE UM SISTEMA DE VEDAÇÃO
VERTICAL COMPOSTO POR ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE EVA E
VERMICULITA**

FRANCISCO YGOR MOREIRA MENEZES

**AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE UM SISTEMA DE VEDAÇÃO
VERTICAL COMPOSTO POR ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE EVA E
VERMICULITA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-
Campus Cajazeiras, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Cícero Joelson Vieira Silva
Coorientador: Robson Arruda dos Santos

Cajazeiras
2020

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catálogo na fonte: Daniel Andrade CRB-15/593

M543a

Menezes, Francisco Ygor Moreira

Avaliação do isolamento acústico de um sistema de vedação vertical composto por argamassa com adição de EVA e vermiculita / Francisco Ygor Moreira Menezes; orientador Cicero Joelson Vieira Silva; coorientador Robson Arruda dos Santos.- Cajazeiras, 2020.

69 f. : il.

Orientador: Cicero Joelson Vieira Silva.

TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

1. Conforto acústico 2. Materiais alternativos – Engenharia Civil 3. Argamassas I. Título

628.1(0.067)

FRANCISCO YGOR MOREIRA MENEZES

**AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ACÚSTICO DE UM SISTEMA DE VEDAÇÃO
VERTICAL COMPOSTO POR ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE EVA E
VERMICULITA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 19 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Ms. Cicero Joelson Vieira Silva – IFPB-Campus Cajazeiras
Orientador



Prof. Ms. Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-Campus Cajazeiras
Examinador 1



Prof. Esp. Daniel Torres Filho – IFPB-Campus Cajazeiras
Examinador 2

Dedico este trabalho aos meus pais e aos meus avós, pelo incentivo e apoio em todos os momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele nada seria possível.

À minha mãe, Maria Verônica, e ao meu pai, Francisco Rufino (Chico), por sempre estarem ao meu lado durante todos os momentos. Às minhas irmãs, Yslany Moreira e Maézia Santana, por todo o suporte e paciência durante esse percurso. Não foi fácil, mas valeu a pena.

Ao Prof. Ms. Cicero Joelson Vieira Silva (Orientador) que com sabedoria, prestatividade e perícia profissional transmitiu seu conhecimento durante as orientações. Ao Prof. Ms. Robson Arruda da Silva (Coorientador) por todo o incentivo e orientações, durante todo o projeto.

A todos os professores que passaram por minha formação acadêmica, me incentivando e repassando todo o conhecimento necessário para minha formação quanto a cidadão e profissional.

A Diretora Geral Lucrécia Petrucci e ao Diretor de Administração, Planejamento e Finanças Hugo Eduardo por todo o apoio cedido pelo *Campus* para que esta pesquisa pudesse ocorrer.

Aos meus amigos que estão sempre comigo, em especial a Sara, Rafaela, Salomão, Ranyelson e Jonas, por todas as boas risadas, pequenas/grandes brigas e por todo o apoio que me deram durante esses cinco anos de graduação. A Leonardo, pelo apoio como amigo e pelo auxílio durante alguns ensaios.

Às técnicas de laboratório, Mery Angela e Ana Paula, por todo o aprendizado compartilhado, paciência e assistência que me foi cedido durante a fase de ensaios nos Laboratórios de Geotecnia, e Materiais e Técnicas Construtivas. Ao Prof. Ms. Gastão Coelho de Aquino Filho e ao Prof. Esp. Daniel Torres Filho pelas orientações e conselhos.

À equipe de manutenção que trabalha na empresa terceirizada do IFPB – *Campus* Cajazeiras, bem como a equipe de vigilantes do *Campus* por toda atenção e por sempre estarem solícitos.

Por fim, ao Instituto Federal da Paraíba, IFPB, *Campus* Cajazeiras pela oportunidade de realização de trabalhos na área de pesquisa e a todos que de forma direta ou indireta, me ajudaram a alcançar este objetivo.

Obrigado!

RESUMO

A preferência por determinados tipos de materiais e a tecnologia construtiva implicam em circunstâncias que podem agregar, ou não, características que aprimoram as condições de conforto sonoro de edificações, além de influenciar nas mais variadas propriedades que se tem em um sistema construtivo. Em se tratando de argamassa de revestimento, os agregados que irão compô-la alteram significativamente suas propriedades no estado fresco e endurecido bem como, as características de durabilidade e de conforto, seja acústico ou térmico. Desta forma, este trabalho tem por objetivo determinar se houve uma otimização no isolamento acústico de um Sistema de Vedação Vertical (SVV) composto por argamassa de revestimento acrescida da junção entre Etileno Acetato de Vinila (EVA) e vermiculita, com 1,25% em relação à massa da areia, em comparação com um SVV composto por argamassa de revestimento do tipo convencional, ambos com o traço de 1:1:6, e classifica-los de acordo com a NBR 15575-4. Tratou-se de um trabalho experimental, de cunho quantitativo/comparativo no qual, do ponto de vista metodológico, inicialmente, realizou-se a caracterização dos agregados para ambas as argamassas e, posteriormente, efetuou-se a caracterização das argamassas no estado fresco: consistência, retenção de água e densidade de massa; e no estado endurecido: absorção por capilaridade, densidade de massa aparente, compressão axial e tração na flexão. Por fim, realizaram-se, com base na ISO 10052, testes para avaliação do isolamento acústico. Recorreu-se a NBR 15575-4, para classificação e avaliação do conforto acústico. Em conformidade com os métodos utilizados obteve-se, como resultados principais, a diminuição da resistência à compressão axial e da resistência à tração na flexão para argamassas que possuíam EVA e vermiculita em sua composição. Contudo todos os resultados atenderam aos requisitos da NBR 13281. Todavia, o revestimento com adição de EVA e vermiculita indicou uma boa capacidade de isolamento acústico isolando cerca de 12,66% em comparação com o revestimento convencional, para uma frequência de referência de 500 Hz, em uma leitura livre.

Palavras-Chave: Conforto acústico; Materiais alternativos; Argamassa de revestimento.

ABSTRACT

The preference for certain types of materials and the construction technology imply circumstances that may or may not add characteristics that improve the sound comfort conditions of buildings, in addition to influencing the most varied properties that have a construction system. In the case of coating mortar, the aggregates that will compose it significantly alter its properties in the fresh and hardened state as well as the characteristics of durability and comfort, whether acoustic or thermal. Thus, this work aims to determine if there was an optimization in the acoustic insulation of an SVV composed by coating mortar plus the junction between EVA and vermiculite (in 1.25% sand mass) compared to an SVV composed by mortar of conventional type coating, both with a 1:1:6 line, and classifies them according to NBR 15575-4. It was an experimental work, of a quantitative/comparative nature in which, from the methodological point of view, initially, the characterization of the aggregates for both mortars (with and without addition) was carried out and, subsequently, the characterization of the mortars in the fresh state: consistency, water retention and mass density; and in the hardened state: absorption by capillarity, apparent mass density, axial compression and flexion traction. Finally, tests were carried out, based on ISO 10052, for the evaluation of sound insulation. NBR 15575-4 was used to classify and evaluate acoustic comfort. In accordance with the methods used, it was obtained, as main results, the reduction of the axial compression strength and the flexural tensile strength for mortars that had EVA and vermiculite in their composition. However, all results met the requirements of NBR 13281. However, the coating with the addition of EVA and vermiculite indicated a good capacity for sound insulation, isolating about 12.66% compared to the conventional coating, for a reference frequency of 500Hz, in a free reading.

Keywords: Acoustic comfort; Alternative materials; Coating mortar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Resíduo de EVA.....	18
Figura 2 – Vermiculita expandida	21
Figura 3 – Sistema de vedação vertical	24
Figura 4 – Níveis de ruídos em dBA	25
Figura 5 – Propagação do som na alvenaria.....	29
Figura 6 – Organograma dos ensaios de caracterização dos agregados	31
Figura 7 – Organograma dos ensaios de caracterização das argamassas	33
Figura 8 – Planta baixa - protótipos	34
Figura 9 – Protótipos	35
Figura 10 – Curva granulométrica.....	38
Figura 11 – Ensaio para determinação do índice de consistência	40
Figura 12 – Porosidade observada nos SVV quando expostos à precipitações	43
Figura 13 – Resistência média à compressão axial	44
Figura 14 – Ensaio de resistência a compressão axial – rompimento aos 7 dias.	45
Figura 15 – Resistência média à tração na flexão	46
Figura 16 – Ensaio de tração na flexão – rompimento aos 7 dias.	47
Figura 17 – Protótipo 02 – Fachada leste	48
Figura 18 – Diferença de nível normalizada de acordo com ISO 10052 - Medições de campo de isolamento acústico aéreo de fachadas	50
Figura 19 – Diferença de nível normalizada de acordo com ISO 10052 - Medições de campo de isolamento acústico aéreo de fachadas	52
Figura 20 – Diferença entre P02 e P01	54
Figura 21 – Diferença entre leituras internas e externas	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação granulométrica da vermiculita.....	21
Quadro 2 – Classificação das argamassas de acordo com a função	22
Quadro 3 – Parâmetros acústicos de verificação	26
Quadro 4 – Influência da DnT,w sobre a inteligibilidade da fala, para ruído no ambiente interno em torno de 35 a 40 dB	26
Quadro 5 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D2m,nT,w$, para ensaios de campo	27
Quadro 6 – Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, DnT,w , para ensaio de campo	28
Quadro 7 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem em massa).....	30
Quadro 8 – Tipos de argamassas utilizadas na pesquisa	32
Quadro 9 – Características físicas dos agregados.....	39
Quadro 10 – Resultados do ensaio do índice de consistência das argamassas.....	40
Quadro 11 – Resultados do ensaios de absorção por capilaridade	42
Quadro 12 – Leituras de ruídos aéreos – Protótipo 01	48
Quadro 13 – Índice de Isolamento Único – Diferença padronizada de nível ponderada a 2m de distância da fachada – Protótipo 01	49
Quadro 14 – Níveis sonoros C e Ct em bandas em bandas de oitava – Protótipo 01.....	49
Quadro 15 – Leituras de ruídos aéreos – Protótipo 02	51
Quadro 16 – Índice de Isolamento Único - Diferença padronizada de nível ponderada a 2m de distância da fachada – Protótipo 02.....	51
Quadro 17 – Níveis sonoros C e Ct em bandas em bandas de oitava – Protótipo 02.....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
1.2 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	15
2. REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 A UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	16
2.2 PROPRIEDADES DO EVA E VERMICULITA EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO	19
2.2.1 EVA.....	19
2.2.2 Vermiculita.....	20
2.3 ARGAMASSAS.....	21
2.4 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS: SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL	23
2.5 CONFORTO ACÚSTICO EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES	24
3. METODOLOGIA.....	30
3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS.....	30
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	31
3.3 DOSAGEM	31
3.4 ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO	32
3.5 CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS EM ALVENARIA	33
3.6 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	38
4.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO.....	39

4.2.1 Consistência.....	39
4.2.2 Retenção de água	40
4.2.3 Densidade de massa	41
4.3 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	41
4.3.1 Absorção por capilaridade.....	41
4.3.2 Densidade de massa aparente.....	43
4.3.3 Resistência à compressão axial.....	43
4.3.4 Resistência à tração na flexão.....	45
4.4 ANÁLISE DO ISOLAMENTO ACÚSTICO EM PROTÓTIPOS DE ALVENARIA	47
4.4.1 Análise individual do SVV - Protótipo 01	48
4.4.2 Análise individual do SVV - Protótipo 02	51
4.4.3 Análise comparativa dos SVV – Leitura livre	53
5. CONCLUSÃO.....	56
6. REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO DOS PROTÓTIPOS.....	63

1. INTRODUÇÃO

A busca por técnicas construtivas eficientes e com pouco impacto ao meio ambiente se tornou, ao longo do progresso da engenharia, uma discussão pertinente no meio científico e no mercado de trabalho. Em sua pesquisa, Figueiredo e Silva (2010), expõem que alguns critérios são de extrema importância para a construção de edificações como a diminuição da geração de resíduos sólidos, diminuição dos impactos provocados pela construção nos ecossistemas, máxima qualidade na projeção do interior de ambientes incluindo conforto térmico e sonoro, entre outros aspectos.

Especificando alguns pontos quanto ao conforto sonoro em ambientes, Friedrich (2010) argumenta a respeito de causas das crescentes indagações sobre este assunto em edificações e indica que uma das justificativas seria o desenvolvimento desestruturado de centros urbanos proveniente de fatores como o desenvolvimento tecnológico. Contudo, os Sistemas de Vedação Vertical (SVV) também influenciam na proteção contra ruídos, uma vez que, a depender do índice de redução sonora do agrupamento de todos os materiais constituintes da parede, o desempenho deste isolamento será inferior ou superior.

Desta forma, evidencia-se a existência de critérios além de resistência mecânica e durabilidade dos materiais utilizados na construção de uma residência, baseados nas normas de desempenho NBR 15575-1 (ABNT, 2013) e NBR 15575-4 (ABNT, 2013), que impõem delimitações e exigências técnicas que atendam às necessidades do usuário e estabelecem critérios para o conforto no interior de edificações.

À vista disso, a possibilidade de utilização de materiais convencionais e não convencionais em argamassas, que possam integrar características ao compósito, agindo de forma benéfica e maximizando as propriedades já existentes, é exequível uma vez que se podem analisar as diversas interações que ocorrem entre uma adição e a matriz cimentícia da mistura, verificando as propriedades da argamassa.

Em paralelo a isto e dado que é persistente a busca por novos tipos de materiais, sejam eles naturais ou oriundos de resíduos sólidos, autores como Garlet (1998), Lucas e Benatti (2008), Orth, Baldin e Zanotelli (2014), Rocha (2008), destacam que os métodos industriais alavancaram a produção de resíduos sólidos, aumentando o consumo e a exploração de novos materiais. Já Andrade e Guimarães (2017) ressaltam a importância da reutilização e reciclagem de tais resíduos.

A partir da indústria e perante as consequências ocasionadas pelo descarte de resíduos sólidos, tem-se buscado redestinar materiais que antes seriam descartados. Deste modo, em se tratando de resíduos industriais nota-se a produção calçadista, conhecida como um dos processos de produção que gera uma ampla parcela de resíduos sólidos onde, dentre estes, destaca-se o Etileno Acetato de Vinila (EVA), que possui características favoráveis para utilização em adições e substituições de agregados naturais.

Por outro lado, com relação aos materiais de origem natural, Cintra (2013) explica que a vermiculita expandida possui importantes aspectos que influenciam na estrutura das argamassas com relação ao peso estrutural, isolamento térmico e acústico, incombustibilidade, entre outras propriedades.

Assim, a partir dos pontos expostos, se torna evidente que encontrar materiais que possuam condições e características favoráveis para serem utilizados na construção é um grande objetivo assim como, construir um ambiente com condições que atendam a um padrão de alta qualidade com materiais que não agridam ao meio ambiente.

Percebendo a importância desta questão e reconhecendo os obstáculos em utilizar novos materiais na construção civil, este trabalho tem a intenção de realizar um estudo comparativo, do desempenho do isolamento acústico, entre argamassas acrescidas de vermiculita e EVA, e argamassas convencionais utilizadas como revestimento em paredes de alvenaria. O estudo se dará em um ambiente fechado com dimensões pré-definidas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Comparar o desempenho do isolamento acústico de um Sistema de Vedação Vertical (SVV) composto por argamassa adicionada de EVA e vermiculita, em relação a um SVV composto por argamassa convencional.

1.1.2 Objetivos específicos

- Verificar as propriedades de argamassa de revestimento, no estado fresco e endurecido, acrescidas da junção entre EVA e vermiculita em uma proporção de 1,25%, em relação à massa da areia, em comparação com argamassa de revestimento convencionais;

- Construir modelos de um ambiente residencial que consiga simular as condições ambientais e características do mesmo;
- Analisar o desempenho com relação ao isolamento sonoro de sistemas de revestimento de paredes com adição de EVA e vermiculita em comparação a sistemas de revestimento convencionais.

1.2 ESTRUTURA DA PESQUISA

Esta pesquisa está dividida em cinco capítulos. Inicialmente, tem-se a introdução onde apresentam-se as considerações iniciais, justificativa do estudo em questão, objetivos e estrutura da pesquisa, capítulo 1.

No capítulo 2, faz-se uma revisão da literatura onde são abordados pontos como: a utilização de materiais não convencionais na construção civil, destacando o crescimento tecnológico em termos de tecnologias construtivas; o uso de EVA e vermiculita em argamassas de revestimento, detalhando características e aspectos dessas adições; sistemas de vedação vertical, onde serão abordados alguns tipos de sistema de vedação; e conforto sonoro em residências unifamiliares, ponto no qual é abordada a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), definições e conceitos.

No capítulo 3, tem-se a descrição dos métodos utilizados para realização da pesquisa, onde, inicialmente, destacou-se as etapas de caracterização dos agregados, em seguida os ensaios desenvolvidos no estado fresco e endurecido e, por fim, as análises para avaliação do conforto sonoro.

O capítulo 4 consiste na apresentação e discussão dos resultados encontrados, assim realizou-se um comparativo entre os resultados obtidos nesta pesquisa com resultados logrados por pesquisadores. Por fim, no capítulo 5 são apontadas as considerações finais sobre o trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O capítulo a seguir tem como finalidade realizar uma análise da literatura com ênfase nas temáticas de materiais não convencionais, características do EVA e vermiculita em argamassas de revestimento, sistemas de vedação vertical e, por fim, conforto acústico de edificações. Para tanto, recorreu-se a autores como Orth, Baldin e Zanotelli (2014), Figueiredo e Silva (2010), Pinto (1999), Martins (2012), Andrade e Guimarães (2017), Polari Filho, Melo e Barbosa (2003), Rocha *et al.* (2013), Brancher (2016), Fiorino (2009), Holanda (2003), Cintra (2013), Paixão (2002) e Simões *et al.* (2011), a fim de se obter uma base teórica sólida.

2.1 A UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Em meio a aspectos históricos e atuais é marcante o uso dos recursos naturais para a indústria em geral. O bem estar, conforto e consumo são importantes temas que definem o avanço das novas tecnologias para atender a sociedade moderna. Desta forma, indústrias automobilísticas, calçadistas, eletroeletrônicas, da construção, entre várias outras, buscam constantemente inovar na produção e na oferta de seus produtos consumindo cada vez mais, os recursos naturais existentes e produzindo, desta forma, uma grande quantidade de resíduos sólidos.

Orth, Baldin e Zanotelli (2014) esclarecem que no Brasil não existem dados consistentes sobre quantidade de resíduos sólidos gerados, contudo o país é um dos líderes na produção de plásticos automotivos. Já Figueiredo e Silva (2010), aludem acerca da necessidade de um uso mais consciente dos recursos naturais na construção civil, através da incorporação de novas estratégias na concepção de projetos.

Assim, tendo em vista a necessidade de uma legislação que regulamentasse a gestão de tais resíduos, em 2010 criou-se a Lei 12.305 que dispõe de diretrizes referentes à geração de resíduos sólidos no Brasil. Esta Lei institui alguns pontos referentes às responsabilidades dos geradores e do poder público, bem como metas e ações adotados pelo Governo Federal.

A Lei 12.305/2010 cita em seu Título III, Capítulo II, os planos de resíduos sólidos que devem ser adotados a nível municipal, estadual e federal, bem como demais planos e propostas complementares. Dentre estes, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) se faz

de um agente importante, sendo criado pelo Governo Federal, através do Ministério do Meio Ambiente, prevendo um conjunto de metas por meio de projetos e programas.

Ainda em relação à lei, esta cita no Capítulo III, do mesmo título supracitado, as disposições sobre a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e lista, em seus inúmeros artigos, os pontos necessários para que os setores públicos e privados trabalhem de forma a garantir propostas como a redução da geração de resíduos sólidos, reciclagem e reutilização, aproveitamento de resíduos sólidos, entre vários outros pontos citados no corpo desta seção. Assim, a lei não apenas mescla o que deve ser realizado, mas também indica como deve ser realizado.

Com relação à construção civil, uma das indústrias que mais gera resíduos sólidos em todo o planeta causando impactos desde a extração de recursos naturais, insumos, até a inserção de resíduos da construção, gerados durante uma obra, no meio ambiente, a Lei 12.305/2010 prevê que estabelecimentos comerciais como empresas de construção civil que gerem resíduos, mesmo que não perigosos, elaborem um PGRS que irá dispor de alguns pontos como, por exemplo, caracterização e diagnóstico dos resíduos produzidos, procedimentos operacionais relativos às etapas de gerenciamento dos resíduos, destinação final e formas de minimizar o impacto ao retornar ao meio ambiente.

No que diz respeito aos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), Pinto (1999) obteve resultados expressivos, verificando que entre os resíduos produzidos por algumas cidades do Estado de São Paulo, de 54% a 70% é RCD. Martins (2012) faz referência à falta de planejamento e definição de etapas, uma vez que estes pontos implicam no desperdício de materiais e mão de obra, culminando na oneração do custo final de obras.

Sob a perspectiva da produção industrial, dentre as várias indústrias existentes é notável o mercado calçadista, uma vez que se trata de um dos segmentos industriais que mais produz no Brasil. Segundo Andrade e Guimarães (2017), a indústria calçadista ganhou impulso promovido a partir das competições de mercado e pela moda. A Associação Brasileira das Indústrias Calçadistas (ABICALÇADOS), em seu relatório setorial 2019, enfatizou que o Brasil é o quarto produtor mundial de calçados estando atrás apenas da China, Índia e Vietnã, contudo a produção cresceu apenas 0,1% em 2018 chegando a aproximadamente 944 milhões de uma fabricação mundial de 22,3 bilhões de pares de calçados daquele ano. O relatório ainda informou que o país está na 31ª posição no consumo per capta de calçados, consumindo 4 pares por habitante.

Ainda segundo o relatório da ABICALÇADOS, dos 944 milhões, 49% eram de plástico ou borracha, 28,8% eram de laminado sintético, 17,7% eram de couro. Em comparativo com o relatório anterior, os calçados de plástico ou borracha aumentaram em 3% e os de couro tiveram um retrocesso de 0,5%.

Em meio a isto, solados, entressolados e palmilhas de calçados, em grande maioria, são fabricados com Etileno Acetato de Vinila (EVA). Este, de acordo com Rocha (2008), é um composto termofixo, de considerável flexibilidade e tenacidade que possui ainda, características de elasticidade semelhantes à da borracha, além de ser atóxico.

Em paralelo às propriedades já citadas, o EVA é um material de baixo custo para aquisição e proporciona um maior conforto ao usuário. Desta forma, é implícita a sua grande utilização do mercado de calçados.

Com relação à origem do resíduo, durante a fabricação de calçados têm-se três etapas principais:

- Corte e costura;
- Acabamento;
- Montagem.

Dessa forma, o primeiro resíduo a ser gerado é o bloco de EVA, provindo das sobras dos cortes devido à modelagem das diversas formas de calçados. Durante a fase de acabamento ocorre o lixamento, gerando assim o segundo tipo de resíduo, o pó, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Resíduo de EVA



Fonte: Autoria própria (2019)

Tendo em vista essa problemática, pesquisadores buscam medidas mitigadoras que possam contribuir com a diminuição dos impactos ambientais, uma vez que, como afirma Polari Filho, Melo e Barbosa (2003), a indústria da construção é um dos setores que mais propicia meios para aproveitamentos de resíduos industriais. Assim, a pesquisa por materiais não convencionais que venham a agregar ou aperfeiçoar características de sistemas construtivos e em alguns casos, reaproveitar o que antes teria como destino final os lixões, ganhou bastante atenção nas últimas décadas. Com isso, Brosler (2011) define materiais não convencionais como materiais provindos de reutilização ou do ambiente que irão integrar uma construção.

Desta forma, agora é possível se ter um reaproveitamento de determinados materiais de forma eficiente, a depender das suas características constituintes, aperfeiçoando propriedades ou substituindo outros materiais.

2.2 PROPRIEDADES DO EVA E VERMICULITA EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

A inserção de materiais não convencionais em argamassas pode gerar melhorias em suas características físicas e mecânicas bem como, provocar patologias e/ou um decaimento destas propriedades. Para tal, se faz necessário uma breve discussão sobre os atributos destes materiais.

2.2.1 EVA

Em estudos como o de Rocha *et al.* (2013) verificaram-se que o EVA possui uma baixa resistência à compressão axial, não sendo indicado para adição em concretos estruturais. Contudo, em sua pesquisa eles identificaram algumas características como baixo peso específico, considerável resistência ao impacto, melhoria do acabamento e finalização de revestimentos de paredes, que mostram, dessa forma, o potencial que este tem para ser inserido em diversas áreas da construção, agregando e/ou melhorando propriedades já existentes em argamassas e concretos.

Assim, ao utilizar o EVA como agregado em adição às argamassas e/ou concretos, a depender da porcentagem, tem-se uma melhora significativa das propriedades já existentes.

Segundo Brancher (2016), algumas das características que este material poderá agregar aos elementos construtivos seriam:

- Alívio de cargas: devido ao seu baixo peso específico implicando em estruturas mais leves com menos custos (redução de aço e concreto);
- Conforto térmico e acústico: o EVA possui uma estrutura porosa, na qual as partículas de cimento se depositam superficialmente sob as partículas de EVA implicando dessa forma, em um aumento no número de vazios e assim, em uma redução da resistência mecânica. Porém, ocorrerá uma maior dissipação de energia mecânica uma vez que, por o material possuir características elásticas, ocorrerá amortecimento da energia cinética (no interior do material) e um aumento no tempo de contato resultando em redução de ruídos;
- Aumento do fator A/C: devido à porosidade apresentada nas partículas de EVA e a sua baixa granulometria, as argamassas acrescidas deste agregado absorverão uma maior quantidade de água.

Dessa forma, este material poderá agregar uma série de particularidades importantes às argamassas de revestimento em paredes de alvenaria uma vez que estas não sofrem grandes esforços de compressão, contudo trabalham como uma camada de vedação em residências que além de revestir, implicam em isolar o ambiente externo do interno, garantindo ao proprietário um conforto apropriado em termos de temperatura e som.

2.2.2 Vermiculita

A NBR 11355 (ABNT, 2015) trata a vermiculita como um agregado de origem mineral, incombustível, que sofre expansão ao ser submetido a altas temperaturas. Ugarte, Sampaio e França (2008) explicam que a vermiculita é composta por vários minerais como ferro, magnésio, alumínio, entre outros, e que possui uma estrutura micáceo-lamelar e clivagem basal. Os pesquisadores ainda retratam que a vermiculita em sua forma expandida possui características como: baixa massa específica aparente, propriedades térmicas e acústicas, adesão, resistência à formação de rachaduras e enrugamentos, além de ser um material não abrasivo, inodoro e não cancerígeno.

A vermiculita é extraída e comercializada em sua forma natural. Contudo, o uso desta é limitado necessitando passar por um processo de expansão térmica que seria a exposição a altas temperaturas variando de 800 a 1100°C, para que ocorra a evaporação da água localizada no interior do mineral, expandindo-o.

Com relação à classificação granulométrica, existem três padrões mais usais para a vermiculita: padrão internacional, padrão brasileiro e padrão americano, que são expressos no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação granulométrica da vermiculita

Padrão Internacional	Tamanho em mm	Padrão Americano	Tamanho em mm	Padrão Brasileiro	Tamanho em 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	80-95% > 0,3

Fonte: (39) Reis (2002)

Na construção civil, a vermiculita expandida é utilizada em granulometria fina, Figura 2, com o objetivo de melhorar as propriedades isolantes de argamassas e concretos.

Figura 2 – Vermiculita expandida



Fonte: Autoria própria (2019)

As argamassas de revestimento convencionais não possuem características de isolamento térmico e acústico consideráveis. Desta forma, agregar materiais que possam somar às características já existentes propriedades como as de isolamento, é apropriado.

2.3 ARGAMASSAS

Fiorino (2009) faz referência à argamassa como sendo um composto formado pelo conjunto de agregados miúdos, aglomerantes e água. Este composto, que é de fundamental importância para as construções, possui funções de proteção e vedação da alvenaria, auxílio

no isolamento térmico e acústico, estética dos edifícios, entre outros pontos que são inerentes às edificações.

Deste modo, as propriedades intrínsecas às argamassas são notoriamente complexas uma vez que a junção de vários materiais envolve características distintas e únicas. Contudo, é possível observar, de acordo com seu estado físico, as propriedades isoladas. Assim, no estado plástico, ou fresco, verificam-se características como: trabalhabilidade, fator que confere uma maior consistência e plasticidade à argamassa; retenção de água, característica que a argamassa possui de preservar água perante agentes absorventes como o substrato e a atmosfera.

No estado endurecido observam-se propriedades referentes à resistência mecânica como: resistência à tração, que é a resistência que um determinado corpo ou material possui ao sofrer esforços de tensão ao ser esticado; e compressão, que se trata da resistência que um determinado material possui a choques e/ou impactos. Destacam-se ainda, propriedades no estado endurecido como aderência, que diz respeito à ligação entre a argamassa e a alvenaria de forma a se obter uma estrutura de revestimento estável; e durabilidade, referente ao tempo no qual a argamassa desempenhará de forma satisfatória as suas funções sem que haja patologias e/ou desgaste.

Com relação aos tipos argamassas é possível classificá-las de acordo com a sua função como indica o Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação das argamassas de acordo com a função

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de assentamento (elevação de alvenaria) • Argamassa de fixação (ou encunhamento)
Para revestimentos de paredes e tetos	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de chapisco • Argamassa de emboço • Argamassa de reboco • Argamassa de camada única • Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa contrapiso • Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante • Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de reparo

Fonte: Carasek (2010)

Desta forma, os principais tipos de argamassa, dentre as citadas no Quadro 2, são:

a) Argamassas de assentamento: as argamassas de assentamento trabalham como juntas que unem os blocos, formando a alvenaria. Para Carasek (2010), este tipo de

argamassa deve vedar as juntas, além de absorver deformações e distribuir esforços, necessitando, para isto, de características como: trabalhabilidade, aderência, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações.

- b) Argamassas de revestimento: estas recobrem as paredes de alvenaria com o objetivo de proteger o substrato do meio atmosférico, além de garantir a vedação e isolamento.

Ainda com relação aos tipos de argamassa, vale ressaltar a classificação quanto à densidade em: leve, normal e pesada. As argamassas leves, conforme Martins e Assunção (2004), possuem em sua composição grãos porosos e/ou uma grande quantidade de ar, o que diminuir expressivamente a densidade, assim como, aumenta o isolamento térmico e acústico. Por outro lado, argamassas do tipo normal (intermediárias), são comumente encontradas em canteiros de obras para aplicação de assentamento e revestimento de alvenarias. Já as argamassas do tipo pesadas são utilizadas em pisos e contrapisos, compostas por areia grossa.

Por fim, para a aplicação de técnicas construtivas com máximo aproveitamento e qualidade, faz-se necessário saber exatamente a finalidade para a qual irá se produzir este composto, identificando e executando de forma correta o que se é proposto.

2.4 TÉCNICAS CONSTRUTIVAS: SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL

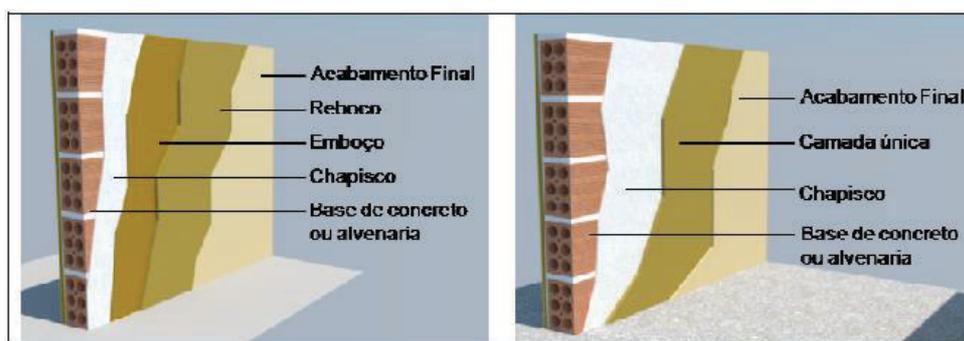
Quando se trata de técnicas construtivas, no âmbito histórico, percebe-se um grande avanço tecnológico uma vez que procedimentos foram aprimorados e novos materiais foram agregados às tecnologias de construção. Holanda (2003), em seu trabalho, faz um recorte histórico para explicar o avanço de tais técnicas. Ele enfatiza que as mudanças ocorreram de forma gradativa de acordo com a época, economia, descoberta de novos materiais e a necessidade da sociedade.

Frente a isso, os sistemas de vedações verticais internos e externos (SVVIE) podem ser definidos como um conjunto de mecanismos que tendem a impedir ações de agentes externos de natureza orgânica como animais; do relevo como chuvas, ventos, variações de temperatura; ou ainda, ações de som e ruído que causem desconforto ao usuário.

Os SVVIE são pensados de modo a atender as necessidades de projetos dos empreendimentos. Dessa forma, as paredes de uma residência unifamiliar não serão iguais às de um edifício com vários pavimentos assim como, em uma boate o reforço no isolamento acústico será maior.

A Figura 3 detalha dois SVVIE, onde do lado esquerdo tem-se uma técnica construtiva composta por: alvenaria de blocos cerâmicos; seguidos pelo sistema de revestimento: chapisco, emboço, reboco e acabamento final, diferindo-se do lado direito apenas pelo sistema de revestimento onde são usados somente chapisco, camada única e acabamento final.

Figura 3 – Sistema de vedação vertical



Fonte: Cintra (2013)

Frente às várias funções desempenhadas por um SVVIE para uma edificação, o isolamento do meio externo para o interno possui uma grande relevância. Assim, estudos como os de Andrade e Guimarães (2017), Cintra (2013), Paixão (2002), que possuem como objetivo maximizar tal isolamento diante às dificuldades encontradas quanto ao uso de materiais não convencionais na construção bem como, as possíveis reações durante a mistura podendo interferir nas propriedades relevantes, vêm aumentando de forma exponencial nos últimos anos.

2.5 CONFORTO ACÚSTICO EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES

Sob a perspectiva de uma análise urbanística, tem-se que atualmente grandes centros urbanos produzem uma quantidade excessiva de ruído. Cintra (2013) explana em seu trabalho que ruídos externos excessivos em meio urbano são originados, em grande parte, por um amplo tráfego de transportes e obras da construção civil, e esclarece ainda, que ruídos internos podem ser derivados de equipamentos, vizinhança e tráfego de pessoas. Assim, tais ruídos, além de causarem incômodo aos proprietários de imóveis, podem acarretar doenças, gerando custo e insatisfação.

A NBR 12179 (ABNT, 1992), que trata de condições específicas do isolamento acústico em recintos fechados, define ruído como uma combinação de sons que não é regido por nenhuma Lei. Este ainda pode ser classificado em ruído aéreo, som produzido e conduzido através do ar; e ruído de impacto, som produzido por impactos e transmitido através do ar.

O som se propaga em forma de ondas onde, de acordo com Simões *et al.* (2011), o número de ciclos por segundo destas ondas é chamado de frequência sonora, dada em Hertz (Hz).

O nível de pressão sonora é exatamente a intensidade do som, ou seja, seu volume. A Figura 4 mostra os níveis de pressão sonora de acordo com o ambiente, enfatizando o grau de periculosidade.

Figura 4 – Níveis de ruídos em dBA

Repousante 0 dBA dormitório 35 dBA	Incomodativo 50 dBA trânsito 70 dBA	Fatigante 80 dBA indústria 85 dBA	Perigoso 100 dBA britadeira 115 dBA	Lesivo 120 dBA avião a jato 135 dBA
--	---	---	---	---

Autor: Simões et al. (2011)

Cintra (2013) explica que a frequência sonora é dividida em bandas: banda de oitava e banda de terço de oitava. O ser humano não consegue distinguir tais frequências, contudo elas existem. As bandas de oitava são divisões da frequência da sua largura em uma oitava, onde a próxima frequência será múltipla da anterior. As bandas de terço de oitava funcionam de forma semelhante, exceto pela separação das frequências por um terço de oitava.

- Faixas em bandas de oitava: 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz e 16000 Hz.

- Faixas em bandas de terço de oitava: 25 Hz, 31,5 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 100 Hz, ..., 20000 Hz.

Atualmente, no Brasil vigora uma norma que estabelece requisitos para um desempenho adequado de edificações habitacionais. A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) delimita parâmetros de qualidade para SVVIE que possibilita ao usuário um conforto adequado. Os métodos de verificação do desempenho acústico citados nesta norma são descritos por normas estrangeiras. Estes são:

- Método de precisão: descrito pela ISO 10140-2, este ensaia em laboratório diversos elementos construtivos, como janelas e paredes, a fim de determinar o nível de isolamento sonoro proporcionando assim, valores de referência.
- Método de engenharia: determina em campo o isolamento sonoro global de SVVIE, (ISO 140-5) e SVVI (ISO 140-4), no caso de fachadas e paredes internas, respectivamente.
- Método simplificado de campo: descrito pela ISO 10052 (2004), este determina a capacidade de isolamento sonoro de recintos externos e internos de forma simples, em locais onde não se possui dispositivos para medição do tempo de reverberação que, segundo a NBR 12179 (ABNT, 1992), trata-se do tempo no qual o ruído deixa de ser audível em um ambiente, após cessar emissão sonora.

Os parâmetros acústicos analisados pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013) são descritos no Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros acústicos de verificação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de Redução Sonora Ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório.
D_{nT,w}	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes etc.)
D_{2m,nT,w}	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 140-5 ISO 717-1	Fachadas, em edificações. Fachadas e coberturas em casas térreas e sobrados.

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013, p. 28)

A norma de desempenho estipula parâmetros como interferência na fala por ruídos, Quadro 4. Estes são apenas parâmetros iniciais para uma avaliação de desempenho de uma edificação.

Quadro 4 – Influência da D_{nT,w} sobre a inteligibilidade da fala, para ruído no ambiente interno em torno de 35 a 40 dB

Inteligibilidade de fala alta no recinto adjacente	Isolamento sonoro, D_{nT,w} [dB]
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível: ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	≥50

Fonte: Association of Australian Acoustical Consultants (2010, citado pela NBR 15575-4, ABNT, 2013, p.

Com relação aos níveis de desempenho nas quais as edificações devem atender, tem-se os valores de referência expressos no Quadro 5, que expõem a diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$).

Quadro 5 – Diferença padronizada de nível ponderada da vedação externa, $D_{2m,nT,w}$, para ensaios de campo

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	M
		≥ 25	I
		≥ 30	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III.	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013, p. 52)

Já para ensaios relacionados aos ambientes internos, têm-se os valores de diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes ($D_{nT,w}$), descritos no Quadro 6, que indica os níveis de desempenho Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

Quadro 6 – Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,w}$, para ensaio de campo

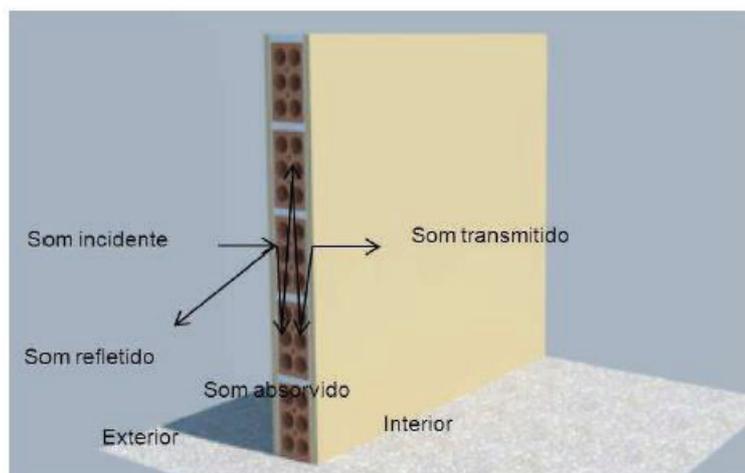
Elemento	$D_{nT,w}$ [dB]	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório.	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que pelo menos um dos ambientes é dormitório.	45 a 49	M
	50 a 55	I
	≥ 55	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos.	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos.	30 a 34	M
	35 a 39	I
	≥ 40	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades).	40 a 44	M
	45 a 49	I
	≥ 50	S

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013, p. 52)

Por outro lado, Mateus (2008) salienta que para verificar o desempenho sonoro de um ambiente é necessário esclarecer que o ouvido humano não responde de forma linear a mudanças de frequência. Desta forma, para compensar a audição humana os dispositivos leitores de pressão sonora são munidos de filtros que ajustam o som captado ao som percebido pelo ouvido humano. Assim, os principais filtros, ou curvas, de ponderação de frequência convencionados são: curva A, B e C.

A curva de ponderação A é, comumente, a mais utilizada entre as três citadas acima devido a sua equivalência à percepção humana, uma vez que é sensível apenas às frequências intermediárias. A curva C é indicada para frequências muito altas. Já a B é intermediária a A e C, contudo, pouco utilizada.

Já em se tratando das alvenarias de vedação, Cintra (2013) explica que ao entrar em contato com a alvenaria o som poderá se propagar de três formas distintas: incidente, absorvido ou refletido, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Propagação do som na alvenaria

Fonte: Cintra (2013)

A proporção de cada forma de propagação irá depender de várias condições, como o ambiente interno a edificação, as técnicas construtivas empregadas na construção, os materiais que irão compor a alvenaria, entre outros.

Ademais, a necessidade de desenvolver técnicas capazes de aumentar o conforto em edificações está relacionada ao bem estar social, de forma a melhorar a qualidade de vida das pessoas. Com isso, o estudo dos materiais e das técnicas construtivas que edificam uma residência se torna algo considerável para elucidar tais questões.

3. METODOLOGIA

Este capítulo irá abordar os métodos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa. Tratou-se de um trabalho experimental, de cunho quantitativo/comparativo. Todos os ensaios de caracterização dos agregados e das argamassas, tanto no estado fresco como no estado endurecido, foram realizados de acordo com as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), no Laboratório de Geotecnia e no Laboratório de Materiais da Construção e Técnicas Construtivas, ambos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB *Campus* Cajazeiras.

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Durante a execução desta pesquisa foi utilizado o cimento CII E-32-RS. Em sua composição, esta classe de cimento possui adição de escória granulada de alto-forno, além de outros componentes (Quadro 7), o qual proporciona um baixo calor de hidratação, alta resistência inicial e uma considerável resistência ao ataque de sulfatos.

Quadro 7 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem em massa)

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Componentes (% em massa)			
				Clínquer + sulfatos de calcário	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CII-E	25 32 40	RS ou BC	51-94	6 - 34	-	0 - 15

Fonte: Adaptado da NBR 16697 (ABNT, 2018)

Utilizou-se, ainda, cal hidratada do tipo CH-I, que possui um alto grau de pureza. Este aglomerante reduz o atrito entre os grãos proporcionando às argamassas uma maior liga, trabalhabilidade e plasticidade.

Como agregado natural, empregou-se areia provinda do mercado local. Para utilização, peneirou-se a areia (malha de 4,75 mm) com o propósito de retirar impurezas orgânicas e pedregulhos.

Em se tratando de materiais não convencionais, teve-se o resíduo de EVA oriundo da fábrica calçadista PVC Indústria e Comércio de Plásticos, obtido através do lixamento, e a vermiculita fina de origem natural, obtida através do comércio da cidade de João Pessoa-PB. Para a construção dos protótipos utilizou-se blocos cerâmicos de 8 (oito) furos, placas de gesso tipo forro, e para execução da cobertura, barrotes de madeira e telha ondulada de fibrocimento.

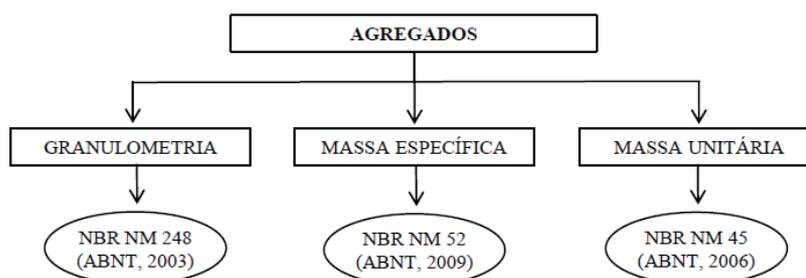
A água presente em todos os ensaios e durante a construção dos protótipos é advinda da rede de distribuição da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA).

Para avaliação do conforto acústico, empregou-se um sonômetro (decibelímetro) multifuncional THDL-400 que opera em 4 faixas com nível de pressão sonora de 35 a 130 dB, resolução de 0,1 dB e precisão de $\pm 3,5$ dB. Este trabalha entre as frequências de 30 Hz a 10 kHz. Como fonte emissora de ruído, empregou-se uma caixa de som.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Anteriormente aos ensaios, utilizou-se a NBR NM 26 (ABNT, 2009) e a NBR NM 27 (ABNT, 2001) para amostragem e redução de amostra para ensaios de laboratório, obtendo-se assim, amostras representativas. Em seguida, para caracterização dos agregados, materiais convencionais (areia) e não convencionais (EVA e vermiculita), realizou-se os ensaios de acordo com a Figura 6.

Figura 6 – Organograma dos ensaios de caracterização dos agregados



Fonte: Autoria própria (2019)

3.3 DOSAGEM

Para a argamassa de revestimento, a qual se teve a análise como principal objetivo desta pesquisa, adotou-se um traço de 1:1:6 (cimento:cal:areia), em massa, assim como

utilizado por Carasek (2010), que analisou argamassas do tipo leve, e Menezes *et al.*(2018), que verificaram características de conforto térmico em argamassas com adição de EVA e vermiculita. Logo, optou-se por utilizar da mesma proporção para o estudo em questão.

Com relação à quantidade de material não convencional a ser adicionada, em seu trabalho, Menezes *et al.* (2018) constataram que para uma adição conjunta de EVA e vermiculita de 1,25% houve um aumento significativo no isolamento térmico sem diminuição do desempenho mecânico. Desta forma, definiu-se a mesma adição para a argamassa em estudo e posterior verificação do isolamento acústico.

Assim, calculou-se as porcentagens de adição de acordo com a massa da areia e, acrescentou-se um grafema T seguido de um número para designar o tipo de traço de acordo com a porcentagem a ser adicionada, como mostra o Quadro 8.

Quadro 8 – Tipos de argamassas utilizadas na pesquisa

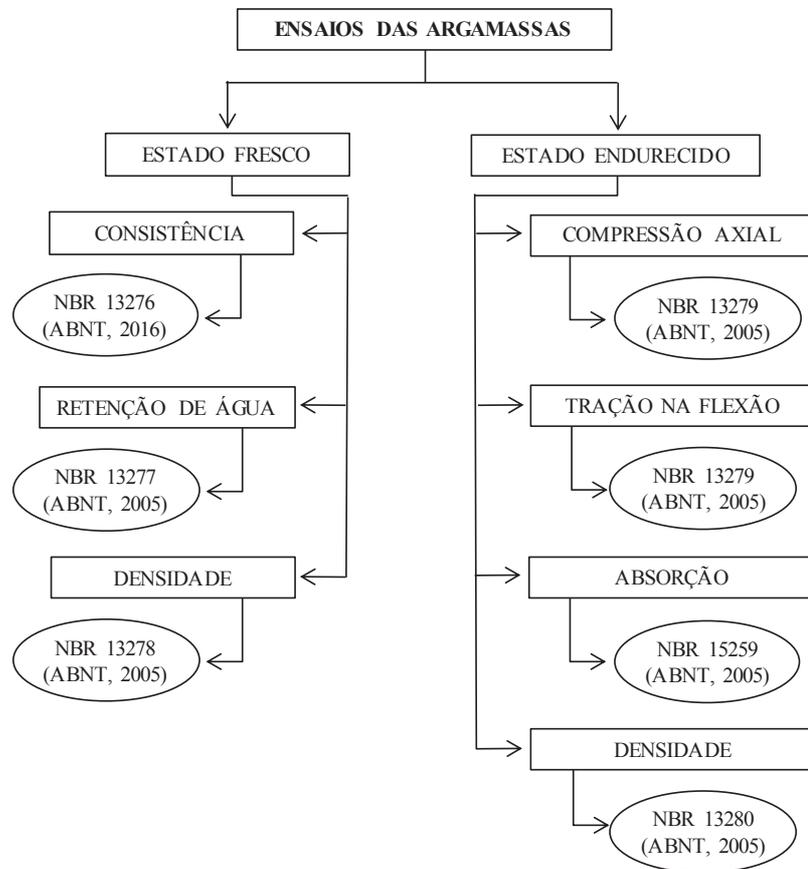
Tipo de argamassa	Traço	EVA (%)	Vermiculita (%)	Total adicionado (%)
Convencional	T01	0	0	0
Com adição	T02	0,625	0,625	1,25

Fonte: Autoria própria (2019)

3.4 ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO

Após o preparo da mistura, NBR 16541 (ABNT, 2016), realizou-se os procedimentos experimentais, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Organograma dos ensaios de caracterização das argamassas



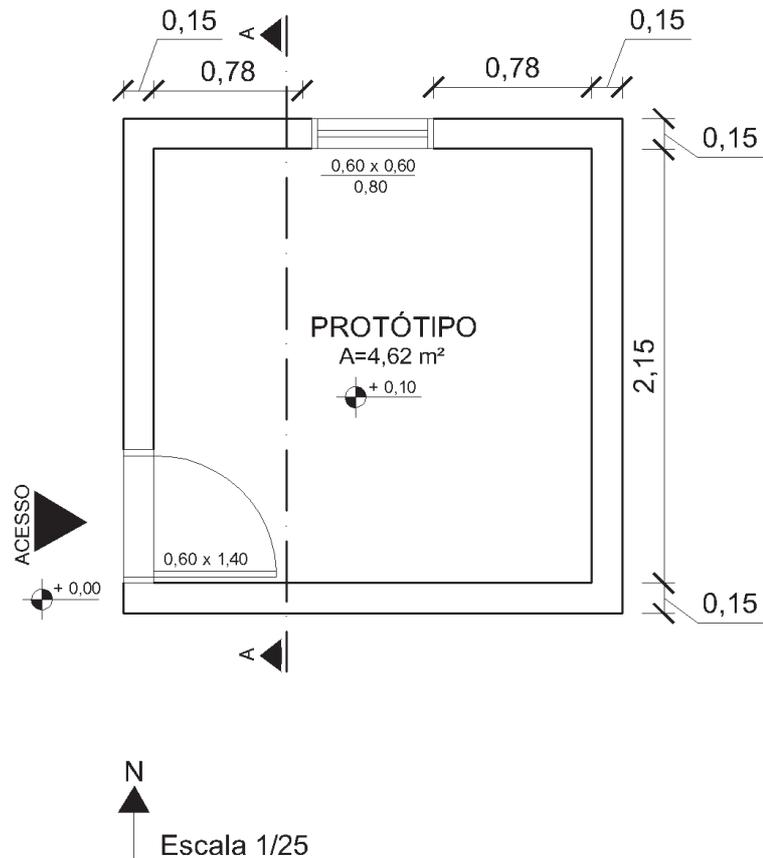
Fonte: Autoria própria (2019)

Para os ensaios de desempenho mecânico, optou-se por realizar uma análise para as idades de 7, 14, 21 e 28 dias, assim como indicado pela NBR 13279 (ABNT, 2005).

3.5 CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS EM ALVENARIA

Para a construção dos modelos considerou-se as dimensões 2,45 m x 2,45 m, com um pé direito de 1,98 m, um ambiente fechado, com características de um cômodo residencial para simular as condições reais de um ambiente domiciliar, como expõe a Figura 8. O projeto arquitetônico completo do protótipo encontra-se no Apêndice A.

Figura 8 – Planta baixa - protótipos



Fonte: Autoria própria (2019)

A partir disto, construíram-se dois protótipos, Figura 9, onde o primeiro teve um SVV compostos por paredes de alvenaria com revestimento de chapisco (1:3) e emboço (1:1:6), produzidos a partir de argamassa convencional. O segundo possui um SVV composto, também, por paredes de alvenaria com revestimento de chapisco e emboço, contudo neste se teve um revestimento com argamassa adicionada do composto de EVA e vermiculita. Nos ambientes foram construídos forro de gesso com espessura de 2 cm, telhado de uma água com coberta em telha ondulada de fibrocimento.

Figura 9 – Protótipos

Fonte: Autoria própria (2019)

3.6 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO

O estudo é de cunho comparativo, contudo para a medição do comportamento sonoro dos protótipos utilizou-se a análise do isolamento sonoro aéreo de fachadas descrito no método simplificado de campo, da norma internacional ISO 10052 e, para avaliação dos dados obtidos, considerou-se a norma EN ISO 717-1 e a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) que possui parâmetros de referência, delimitando critérios e valores mínimos de isolamento acústico.

Com relação aos níveis de ruídos, seguiram-se as orientações da ISO 10052 onde, mediu-se a pressão sonora a partir de frequências em bandas de oitava, com as faixas de 125, 250, 500, 1000 e 2000 Hz. O decibelímetro foi programado para utilizar a faixa de ponderação de frequência dB (A).

Assim, realizaram-se os seguintes procedimentos, de acordo com ISO 10052, verificando a diferença de nível entre ambiente interno e externo por ruídos isolados, através de sonômetro.

a) Inicialmente, utilizando o método do alto-falante, posicionou-se uma fonte sonora a uma distância horizontal de 5,10 m ($d > 5m$) da fachada do protótipo, com um ângulo de 45° em relação ao plano horizontal. Em seguida, posicionou-se o sonômetro a uma distância de 2m da fachada e, emitiu-se um ruído com a primeira frequência (125 Hz);

b) Realizou-se uma leitura da pressão sonora emitida pelo alto-falante, em um intervalo de 30 s.

c) Em seguida, posicionou-se o sonômetro a 2 m do elemento de separação, no interior no protótipo, e realizou-se o mesmo procedimento descrito no item anterior. Colheram-se leituras para obtenção da pressão sonora média do ambiente da fonte sonora ($\bar{L}_{1,2m}$) e do ambiente de recepção (\bar{L}_2).

d) Fez-se o mesmo procedimento para cada frequência citada.

O ensaio foi realizado com a porta e janela fechada como indicado pela norma. O método de ensaio foi utilizado para os protótipos 01 e 02.

Após esta etapa, determinou-se a diferença de nível da fachada (em dB) dos protótipos através da Equação 1, de acordo com os dados obtidos no procedimento.

$$D_{2m} = \bar{L}_{1,2m} - \bar{L}_2 \quad (1)$$

Em seguida, através das características: com mobília, sem mobília, tipo de piso (leve ou pesado), paredes/teto (leves ou pesados), e após determinado o volume interno em m³, classificou-se os ambientes em a; b; c; d; e; f; g; h, ou ainda, segundo a combinação destes em a + e; b + f; c + g; d + h. A partir desta classificação, determinou-se o índice de reverberação para as frequências de 125, 250, 500, 1000, 2000 Hz.

Posteriormente, calculou-se a diferença de nível normalizada de fachada (em dB) por meio da Equação 2.

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + k \quad (2)$$

Foram calculadas as diferenças de níveis normalizadas de fachada para todas as frequências ensaiadas em ambos os protótipos. Depois de concluídas as medições e de posse dos resultados, determinou-se com base nos valores de referência da EN ISO 717-1 uma curva logarítmica que define o comportamento do isolamento sonoro imposto pelos SVV.

Com relação à diferença padronizada de nível ponderada ($D_{2m,nT,w}$), de acordo com a EN ISO 717-1, deslocou-se a curva de referência de 1 em 1 dB até que a soma dos desvios desfavoráveis (diferença entre os valores medidos, valores abaixo da curva de referência, e os valores da curva de referência) seja o maior possível, mas não superior a 10 dB. E em seguida, verificou-se o valor da curva de referência deslocada a uma frequência de 500 Hz

que corresponde diferença padronizada de nível ponderada ou, ainda, à magnitude global para avaliação do ruído aéreo.

Para a adaptação espectral, que segundo a EN ISO 717-1, trata-se de um método para adaptar as condições de isolamento a um tipo de ruído específico (somando os valores do ruído rosa (C) ou de tráfego urbano (C_{tr}) à magnitude global), determinou-se as condições de adaptação referente a ambos os tipos de ruídos ponderados em A, a partir da EN ISO 717-1, calculando os coeficientes de acordo com as Equações 3 e 4.

$$X_{Aji} = -10 \lg \sum 10^{(L_{ij}-x_i)/10} \quad (3)$$

Onde,

i: variação das frequências de bandas de oitava, valores entre 125 e 2000 Hz;

L_{ij} : são os valores da curva de referência;

x_i : são os valores do isolamento ($D_{2m,nT}$).

Após calcular o coeficiente X_{Aji} para os ruídos do tipo rosa e de tráfego urbano, como recomendado pela EN ISO 717-1, determinou-se os valores correspondentes aos respectivos ruídos.

$$C_j = X_{Aj} - X_W \quad (4)$$

No qual,

X_W : magnitude global apropriada, baseada na curva de referência ($D_{2m,nT,W}$);

$X_{A,1}$: diferença de nível ponderada em A entre o ambiente de emissão e o de recepção, para ruídos rosa;

$X_{A,2}$: diferença de nível ponderada em A entre o ambiente emissor (ao ar livre, em frente à fachada) e o receptor, para ruídos de tráfego.

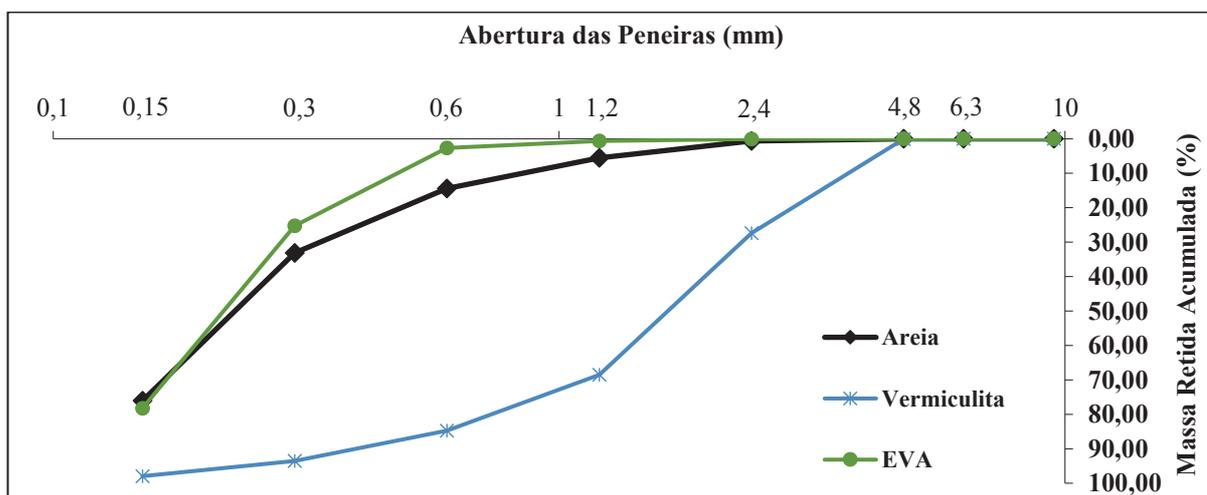
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa, seguidos de discussões com a literatura. Inicialmente, tratar-se-á de uma análise dos agregados, bem como a argamassa empregada no sistema de vedação vertical. Posteriormente, serão exibidos dados das análises do comportamento sonoro dos sistemas de vedação dos protótipos 01 e 02.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

A composição granulométrica dos agregados (areia, vermiculita, EVA), utilizados neste estudo, estão expostos na Figura 10.

Figura 10 – Curva granulométrica



Fonte: Autoria própria (2019)

A areia utilizada possui uma composição contínua, com características de um agregado muito fino apresentando um módulo de finura igual a 1,30 ($MF < 2$), Quadro 9, conforme parâmetros indicados pela NBR 7211 (ABNT, 1983). Com relação ao DMC (Diâmetro Máximo Característico) obteve-se como resultado 1,2, o que está em conformidade com a distribuição granulométrica do material.

Com relação ao EVA, como já identificado através de uma análise preliminar, verifica-se que a quantidade de finos presentes é considerável, módulo de finura igual a 1,07, destacando ainda que a curva se comporta de forma contínua. Já a massa específica, expressa no Quadro 9, indica que se trata de um material leve.

Por outro lado, os dados obtidos a partir da vermiculita sugerem que esta possui grãos maiores, módulo de finura igual a 3,72. Sua distribuição granulométrica, assim como a areia e o EVA, é ascendente, de forma contínua. Por conseguinte, a massa específica desta, indica que se trata de um agregado extremamente leve, Quadro 9.

Quadro 9 – Características físicas dos agregados

AGREGADOS	Características granulométricas		Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (kg/cm ³)	
	MF	DMC		Estado Solto	Estado Compactado
Areia	1,30	1,2	2,50	1545,12	1605,67
Vermiculita	3,72	4,8	0,10	165,06	180,69
EVA	1,07	0,6	1,25	234,40	278,36

Fonte: Autoria própria (2019)

4.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Nesta etapa, serão expressos os resultados dos ensaios realizados nas argamassas no estado fresco.

4.2.1 Consistência

Dado que o estudo é de cunho comparativo e por consequência, não se tem um fator água/cimento conhecido, utilizou-se da variável quantidade de água para determiná-lo fixando a consistência em 260 ± 5 mm, como indica a NBR 13276 (ABNT, 2016). Assim, através do ensaio de determinação do índice de consistência, Figura 11, para o T01 obteve-se um fator A/C de 1,75 e para o T02 um fator A/C de 1,85.

Figura 11 – Ensaio para determinação do índice de consistência



Fonte: Autoria própria (2019)

Martins (2008) esclarece que argamassas que possuem maior quantidade de finos tendem a consumir mais água para alcançar uma trabalhabilidade e aderência de qualidade. Desta forma, ao inserir o EVA que, como já discutido no subitem 4.1, é um material muito fino e a vermiculita, também já debatida no subitem anteriormente citado, que possui massa específica bem inferior aos demais, verifica-se que houve um aumento no consumo de água, como mostra os valores obtidos através do ensaio para índice de consistência, no Quadro 10.

Quadro 10 – Resultados do ensaio do índice de consistência das argamassas

Argamassa	Medida 01 (mm)	Medida 02 (mm)	Medida 03 (mm)	Índice de consistência (mm)
T01	261,03	263,60	267,42	263,60
T02	260,41	258,45	262,47	260,41

Fonte: Autoria própria (2019)

4.2.2 Retenção de água

Em relação à retenção de água, para o traço T01 obteve-se um percentual de retenção de 87,40% enquanto que para T02 alcançou-se um resultado de 90,14%. Desta forma, entende-se que existe uma maior quantidade de finos presentes na argamassa T02 (com adição) o que causará uma maior retenção. Ressalta-se, ainda, que ambas as argamassas já possuíam uma considerável quantidade de finos uma vez que a areia é do tipo muito fina.

Em sua pesquisa, Cintra (2013) obteve resultados semelhantes para argamassa convencional. Contudo, para argamassas acrescidas de vermiculita em sua composição, a

autora verificou que houve um aumento significativo na retenção de água. Argamassas que possuem vermiculita em sua composição tendem a reter mais água uma vez que, estas expandem na presença deste líquido.

Desta forma, de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005) classificam-se as argamassas T01 e T02 quanto à retenção de água, como da classe U4 ($86\% \leq Ra < 94\%$).

4.2.3 Densidade de massa

Quanto à densidade no estado fresco, verificou-se que ao introduzir os agregados obteve-se uma diminuição de 2,08% da densidade da argamassa. Para o T01, alcançou-se o resultado de $2037,58 \text{ kg/m}^3$ enquanto que para o T02, $1995,17 \text{ kg/m}^3$. Estes dados podem ser explicados devido ao baixo peso específico dos agregados adicionados a mistura. Cintra (2013) também verificou que ao adicionar vermiculita à argamassa a densidade da mesma diminuiu, devido à densidade da própria vermiculita ser baixa. Desta forma, ao associar a vermiculita a outro agregado de baixa densidade obtém-se como resultado uma diminuição nesta característica.

Assim, ambas as argamassas podem ser classificadas, de acordo com Carasek (2010), em argamassas normais ($2,30 \leq d \leq 1,40 \text{ g/cm}^3$). A porcentagem de agregados adicionada à argamassa foi de apenas 1,25%, interferindo minimamente na densidade da mesma.

Por outro lado, a NBR 13281 (ABNT, 2005) designa, de acordo com a densidade de massa no estado fresco, as argamassas T01 e T02 como pertencentes à classe D5 ($1800 \text{ kg/m}^3 \leq d < 2200 \text{ kg/m}^3$).

4.3 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

Nas subseções a seguir, serão apresentados resultados quanto ao desempenho mecânico das argamassas.

4.3.1 Absorção por capilaridade

Para o ensaio de absorção, obtiveram-se os resultados indicados no Quadro 11.

Quadro 11 – Resultados do ensaios de absorção por capilaridade

	T01	T02
A10 (g/cm²):	0,19	0,25
A90 (g/cm²):	0,75	0,88
C (g/dm²):	9,00	10,00

Fonte: Autoria própria (2019)

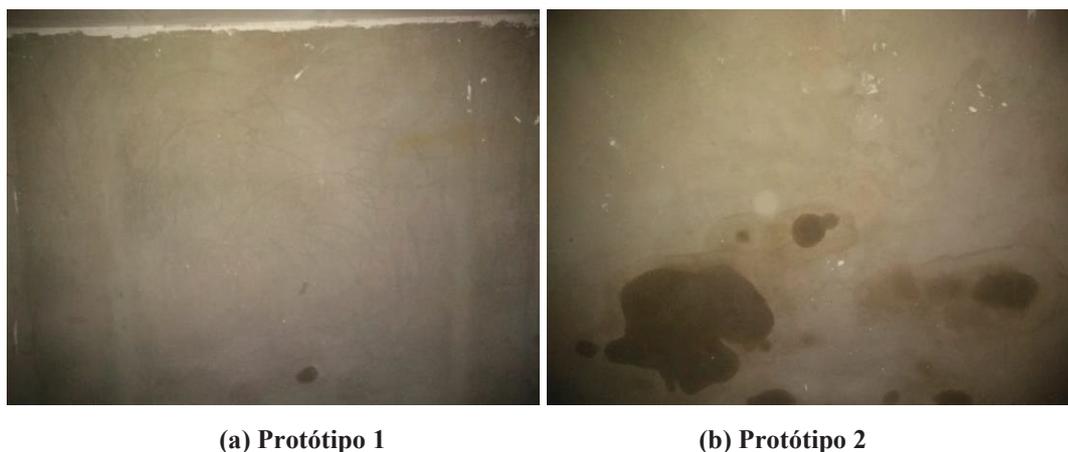
Como já mencionado nas subseções 4.2.1 e 4.2.2, verifica-se que as argamassas acrescidas de EVA e vermiculita absorvem mais água e, neste caso, é ocasionado pela maior porosidade que este tipo de argamassa apresenta. Assim, a T02 absorve cerca de 10% a mais que a T01.

Desta forma, quanto ao coeficiente de capilaridade, a NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica as argamassas T01 e T02 como do tipo C5 ($5 \leq C < 12 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{min}^{1/2}$).

A partir de Cardoso (2009), verifica-se que para se obter uma porosidade baixa através do empacotamento de agregados é necessário que exista na mistura partículas gradualmente distribuídas que possam preencher os vazios. Neste caso, para Andrade e Guimarães (2017), até certo ponto a adição de EVA age de modo a aumentar o alcance do empacotamento das partículas e assim, diminuir a porosidade. Contudo, a vermiculita atua de forma a obter uma maior quantidade de poros, tendo em vista que seus grãos são maiores. À vista disso, como a massa específica da vermiculita é menor que a do EVA, expresso no Quadro 9, a quantidade de vermiculita presente na argamassa T02 é maior do que a parcela de EVA aumentando, por conseguinte, a porosidade da argamassa.

Ao observar Figura 11, a parede com argamassa que possui EVA e vermiculita em sua composição (Figura 12-b), quando submetida à presença de água, se comporta de forma a absorver de modo considerável este fluido. Logo, verifica-se um alto grau de porosidade, como discutido acima, em comparação à parede com argamassa sem adição (Figura 12-a).

Figura 12 – Porosidade observada nos SVV quando expostos à precipitações



Fonte: Aatoria própria (2019)

4.3.2 Densidade de massa aparente

Com relação à densidade de massa aparente, verificada no estado endurecido, obteve-se como resultado médio para T01 e T02, $1706,30 \text{ kg/m}^3$ e $1645,72 \text{ kg/m}^3$, respectivamente.

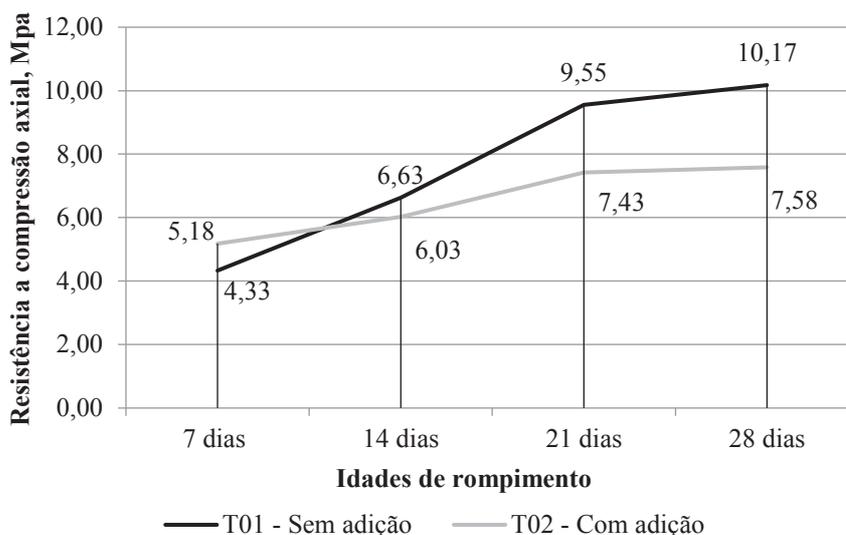
Estes valores indicam que, assim como no estado fresco, houve uma diminuição de densidade da argamassa, sendo esta de 3,55%, quando a mistura possui adição de EVA e vermiculita em sua estrutura.

Assim, segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas T01 e T02 são classificadas quanto à densidade de massa aparente no estado endurecido como M5 ($1600 \leq d < 2000 \text{ kg/m}^3$).

4.3.3 Resistência à compressão axial

A respeito da resistência à compressão axial, os resultados correspondem ao que já se esperava uma vez que houve diminuição da resistência para a argamassa com adição de EVA e vermiculita, Figura 13.

Figura 13 – Resistência média à compressão axial



Fonte: Autoria própria (2019)

Pode-se observar que, inicialmente, aos 7 dias, a argamassa T02 possuiu uma resistência 16,37% maior que a T01. Contudo, para as idades de 14, 21 e 28 dias, a T01 aumentou a resistência em 10%, 28,61% e 34,14%, respectivamente, em relação a T02. Mesmo com um desempenho da resistência axial inferior à de referência, a T02 satisfaz aos requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005) onde, verificando seu desempenho aos 28 dias, pode-se classificá-la como P5 ($5,5 \leq f_{c28} < 9$ MPa). Já a argamassa T01, segundo a norma supracitada, classifica-se como P6 ($f_{c28} > 8$ MPa).

Cintra (2013) relata que a quantidade de espaços vazios em argamassas é proporcional à quantidade de vermiculita inserida, logo a argamassa se torna porosa, como já discutido no subitem 4.3.1. Esta é uma característica lesiva à argamassa uma vez que a quantidade de vazios é inversamente proporcional à resistência mecânica.

Acerca disso, Cardoso (2009) e Andrade e Guimarães (2017) verificaram em seus trabalhos que, a resistência à compressão do composto depende da resistência dos grãos. Logo, ao inserir na matriz cimentícia grãos com resistência inferior ao da areia, como é o caso do EVA e da vermiculita, a resistência à compressão da argamassa tende a ser menor.

A Figura 14 exibe os corpos de prova durante o rompimento aos 7 dias. Com relação ao corpo de prova sem adição (Figura 13-a), verifica-se mais de uma superfície de ruptura. Contudo, para o corpo de prova com adição (Figura 13-b) verifica-se uma série de superfícies o que pode ser explicado pela considerável quantidade de vazios.

Figura 14 – Ensaio de resistência a compressão axial – rompimento aos 7 dias.



(a) Corpo de prova sem adição

(b) Corpo de prova com adição

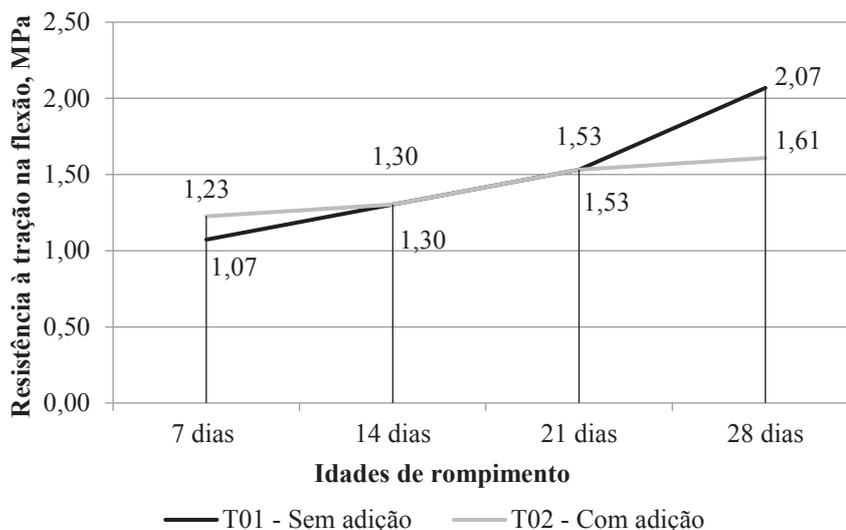
Fonte: Autoria própria (2019)

Ao analisar por perspectiva física, ao ser aplicada uma carga perpendicular à superfície do CP2, o rompimento não ocorre apenas em uma superfície e/ou direção, mas em várias. Isso ocorre devido ao composto de EVA que, segundo Andrade e Guimarães (2017), é um material dúctil, assim como a vermiculita, que não permitem a separação dos grãos no compósito, como ocorre em argamassas convencionais compostas apenas por areia, como agregado, que se trata de um material frágil.

4.3.4 Resistência à tração na flexão

Os resultados do ensaio de tração na flexão, assim como os de resistência à compressão, mostraram uma diminuição na resistência à tração na flexão da argamassa com adição, Figura 15.

Figura 15 – Resistência média à tração na flexão



Fonte: Autoria própria (2019)

Ao analisar os resultados indicados pela Figura 15, percebe-se que para a resistência inicial, aos 7 dias, a argamassa T02 possuiu uma resistência 12,50% maior que a T01. Aos 14 e 21 dias ambas as argamassas possuíram a mesma resistência, porém aos 28 dias verificou-se um desempenho superior de 28,57% da T01 com relação a T02. Contudo, assim como na resistência a compressão axial, ao verificar a resistência à tração na flexão aos 28 dias evidencia-se que a argamassa T02 atende às condições da NBR 13281 (ABNT, 2005), classificando-se como classe R3 ($1,5 \leq f_{t28} < 2,7$ MPa). A T01, por sua vez, estabelecesse na classe R4 ($2 \leq f_{t28} < 3,5$ MPa).

Como já discutido em 4.2.2, a argamassa acrescida de EVA e vermiculita retém mais água uma vez que, a vermiculita absorve água para realizar o processo de expansão enquanto que o EVA, segundo Andrade e Guimarães (2017), realiza um processo de atração eletrostática absorvendo uma certa quantidade de água. Desta forma, a água remanescente para realizar o processo de hidratação do cimento é menor, interferindo nas propriedades mecânicas do compósito.

A Figura 15 mostra o rompimento, aos 7 dias, dos corpos de prova. Percebe-se que, para o corpo de prova sem adição (Figura 16-a), a superfície de ruptura é perpendicular ao ponto de aplicação da carga, com pouca variação. O mesmo se aplica ao corpo de prova com adição (Figura 16-b).

Figura 16 – Ensaio de tração na flexão – rompimento aos 7 dias.



(a) Corpo de prova sem adição

(b) Corpo de prova com adição

Fonte: Autoria própria (2019)

Verifica-se que em ambas as resistências mecânicas, compressão axial e tração na flexão, conforme a idade, que houve um aumento crescente no ganho de resistência. Mehta e Monteiro (1994) explicam que o aumento da resistência mecânica, com o aumento da idade, se deve ao resultado da reação de hidratação do cimento que, de acordo com o tempo de hidratação, produz silicato de cálcio hidratado, aumentando assim, a resistência do composto.

4.4 ANÁLISE DO ISOLAMENTO ACÚSTICO EM PROTÓTIPOS DE ALVENARIA

Os ensaios para determinação do isolamento sonoro de cada SVV ocorreram de acordo com os métodos descritos no Capítulo 3, subseção 5. No momento dos ensaios verificaram-se as seguintes condições:

- Umidade Relativa: UR = 48,80 %.
- Temperatura: T = 32,9 °C.

Para tanto, realizou-se os ensaios na fachada que sugeria maior exposição a ruído, fachada leste (Figura 17), do tipo tráfego. Desta forma, seguem-se os resultados e discussões acerca das características acústicas dos revestimentos que integram o SVV dos protótipos.

Figura 17 – Protótipo 02 – Fachada leste



Fonte: Autoria própria (2019)

4.4.1 Análise individual do SVV - Protótipo 01

De acordo com os métodos explicitados em 3.5, realizou-se a coleta dos dados do ambiente emissor ($D_{1,2m}$) e do ambiente receptor (D_2) obtendo, desta forma, a partir da Equação 2, a diferença de nível normalizada de fachada ($D_{2m,nT}$), indicada no Quadro 11.

Com relação ao índice de reverberação do ambiente, através da ISO 10052, classificou-se o Protótipo 01 em um ambiente sem mobília, com paredes/teto pesados (pautada na composição das paredes por blocos de alvenaria) indicando um ambiente do tipo “e”. A partir do volume interno, $9,245 \text{ m}^3$, verificou-se os índices de reverberação (k) apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 – Leituras de ruídos aéreos – Protótipo 01

Frequência (Hz)	$D_{1,2m}$ (dB)	D_2 (dB)	D_{2m} (dB)	k	$D_{2m,nT}$ (dB)
125	85	59,7	25,08	3,5	28,58
250	81,2	62,8	18,62	3,5	22,12
500	86,3	61,2	25,26	3,5	28,76
1000	92,5	61,9	30,76	3,5	34,26
2000	88,1	60,8	28,02	1,5	29,52

Fonte: Autoria própria (2019)

Para determinação da diferença padronizada de nível ponderada ($D_{2m,nT,w}$), realizou-se, de acordo com as indicações da norma EN ISO 717-1, descrita na subseção 3.5 deste trabalho, o ajuste da curva de referência (CR) para -21 dB, Quadro 13, resultando assim, em um resultado de 31 dB. Verificou-se ainda, se a soma dos desvios desfavoráveis seriam inferiores a 10 dB como indicado pela EN ISO 717-1, bem como, se a soma dos desvios desfavoráveis divididos pela quantidade de frequências seria inferior a 2 dB, como preconiza Mateus (2008), obtendo assim resultados positivos.

Quadro 13 – Índice de Isolamento Único – Diferença padronizada de nível ponderada a 2m de distância da fachada – Protótipo 01

Frequências (Hz)	Curva de referência (dB)	Ajuste da CR -21 (dB)	$D_{2m,nT}$ (dB)	Desvio – Diferença (dB)
125	36	15	28,58	13,58
250	45	24	22,12	-1,88
500	52	31	28,76	-2,24
1000	55	34	34,26	0,26
2000	56	35	29,52	-5,48
Somatório dos desvios desfavoráveis:			9,6 ≤ 10 dB	
Somatório dos desvios desfavoráveis pelo número total de bandas:			1,92 ≤ 2 dB	

Fonte: Autoria própria (2019)

Para determinação das condições de adaptação espectral, referente ao ruído rosa (C) e de tráfego urbano (C_{tr}), realizou-se, de acordo com as expressões 3 e 4, os cálculos obtendo como resultado as informações do Quadro 14.

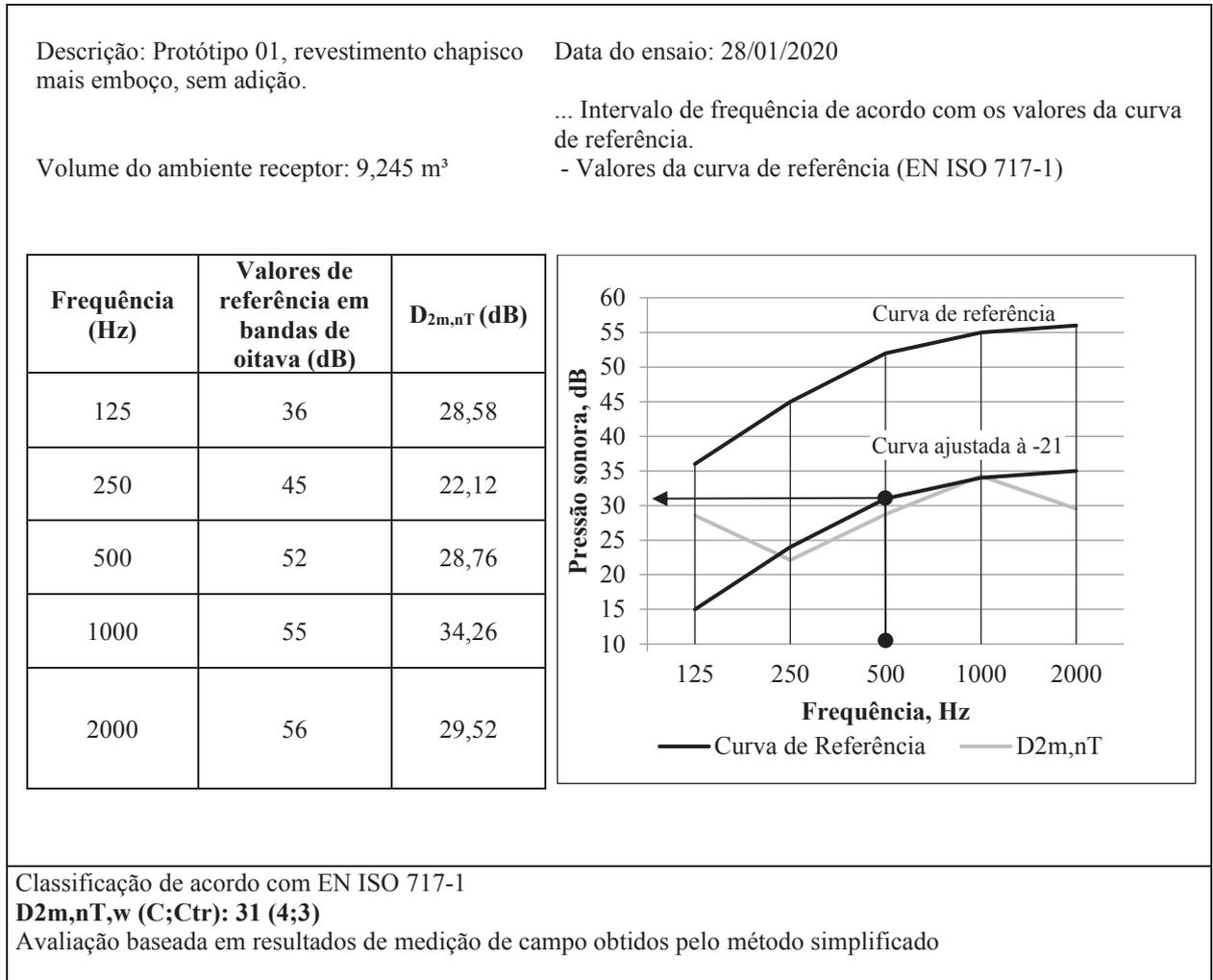
Quadro 14 – Níveis sonoros C e C_{tr} em bandas em bandas de oitava – Protótipo 01

Frequência (Hz)	CR deslocada a -21	$D_{2m,nT}$	Desvio – Diferença (dB)	L_{i1}	L_{i2}	$10^{(L_{i1} - D_{2m,T})/10}$	
125	15	28,58	13,58	-26	-20	3,48E-06	1,39E-05
250	24	22,12	-1,88	-19	-15	7,73E-05	1,94E-04
500	31	28,76	-2,24	-13	-12	6,67E-05	8,39E-05
1000	34	34,26	0,26	-10	-8	3,75E-05	5,94E-05
2000	35	29,52	-5,48	-9	-11	1,41E-04	8,87E-05
$\sum (10^{(L_{i1} - D_{2m,T})/10})$						3,26E-04	4,40E-04
XA,1 – Ruído Rosa:		35	AX,2 – Ruído de tráfego			33,6	
C:		4	C_{tr}:			3	

Fonte: Autoria própria (2019)

Assim, obteve-se como índice de isolamento sonoro para o revestimento com as características descritas, 31 (4,3) dB, indicado na Figura 18.

Figura 18 – Diferença de nível normalizada de acordo com ISO 10052 - Medições de campo de isolamento acústico aéreo de fachadas



Fonte: Autoria própria (2019)

Com relação ao tipo de SVV a partir do Quadro 5, da subseção 2.5 deste trabalho, referente a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), classifica-se o nível de desempenho da vedação deste SVV, para classe de ruído tipo I, como isolamento Superior ($D_{2m,nT,w} \geq 30$) condizente com os requisitos mínimos determinados pela norma de desempenho NBR 15575-4 (ABNT, 2013), com $D_{2m,nT,w} \geq 20$.

4.4.2 Análise individual do SVV - Protótipo 02

Para o Protótipo 02 obteve-se, a partir das leituras e através da Equação 3, a diferença de nível normalizada da fachada expressa no Quadro 14. Os índices de reverberação, que variam de acordo com a frequência, foram determinados a partir da ISO 10052, considerando as características de um ambiente sem mobília, com paredes/teto pesados, sugerindo um ambiente do tipo “e”, Quadro 15.

Quadro 15 – Leituras de ruídos aéreos – Protótipo 02

Frequência (Hz)	D _{1,2m} (dB)	D ₂ (dB)	D _{2m} (dB)	k (dB)	D _{2m,nT} (dB)
125	85,8	60,4	25,42	3,5	28,92
250	80,2	61,1	19,14	3,5	22,64
500	86,5	57,6	28,92	3,5	32,42
1000	95,9	63,8	32,08	3,5	35,58
2000	91,9	64,8	27,12	1,5	28,62

Fonte: Autoria própria (2019)

Assim como os métodos utilizados no Protótipo 01, realizou-se o ajuste da CR para -20 encontrando, para frequência de 500 Hz, o índice de isolamento único da fachada de 32 dB. Verificou-se, ainda, de acordo com EN ISO 717, se a soma dos desvios desfavoráveis seriam inferiores a 10 dB, bem como, se a soma dos desvios desfavoráveis divididos pela quantidade de frequências seria inferior a 2 dB, como mostra o Quadro 16.

Quadro 16 – Índice de Isolamento Único - Diferença padronizada de nível ponderada a 2m de distância da fachada – Protótipo 02

Frequências	Curva de Referência	Ajuste da CR -20	D _{2m,nT}	Desvio - Diferença
125	36	16	28,92	12,92
250	45	25	22,64	-2,36
500	52	32	32,42	0,42
1000	55	35	35,58	0,58
2000	56	36	28,62	-7,38
Somatório dos desvios desfavoráveis:			9,74 ≤ 10	
Somatório dos desvios desfavoráveis pelo número total de bandas:			1,95 ≤ 2	

Fonte: Autoria própria (2019)

Já com relação aos índices de adaptação espectral, verificou-se, a partir das Equações 3 e 4, os resultados exibidos no Quadro 17.

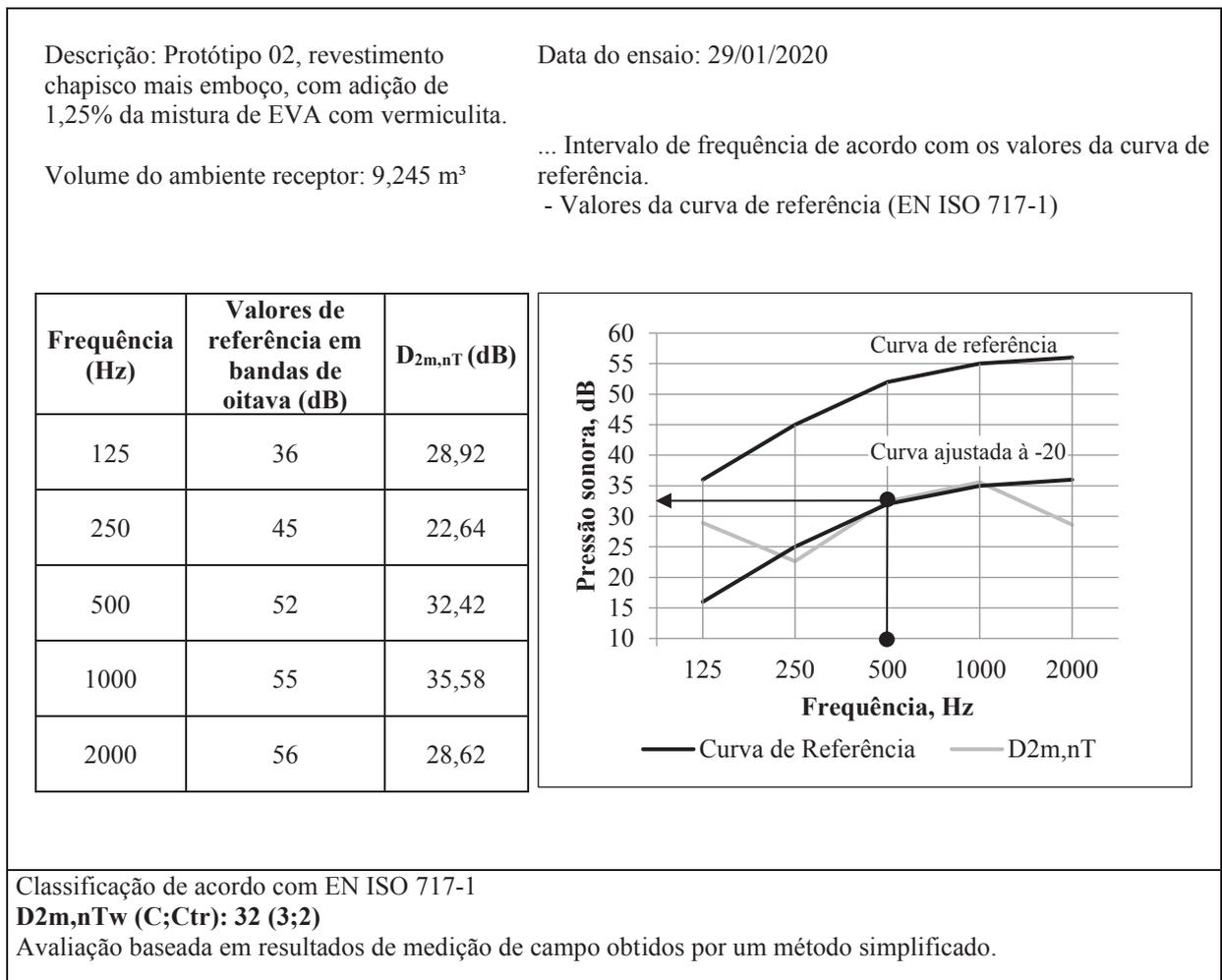
Quadro 17 – Níveis sonoros C e Ct em bandas em bandas de oitava – Protótipo 02

Frequência (Hz)	CR deslocada a -20	D _{2m,nT}	Desvio – Diferença (dB)	L _{i1}	L _{i2}	$10^{(Li1 - D2m,T)/10}$	
125	16	28,92	12,92	-26	-20	3,22E-06	1,28E-05
250	25	22,64	-2,36	-19	-15	6,85E-05	1,72E-04
500	32	32,42	0,42	-13	-12	2,87E-05	3,61E-05
1000	35	35,58	0,58	-10	-8	2,77E-05	4,39E-05
2000	36	28,62	-7,38	-9	-11	1,73E-04	1,09E-04
$\Sigma(10^{(Li1 - D2m,T)/10})$						3,01E-04	3,74E-04
XA,1 – Ruído Rosa:		35	AX,2 – Ruído de tráfego			34,3	
C:		3	C_{tr}			2	

Fonte: Autoria própria (2019)

A partir dos resultados já obtidos, determinou-se, como indicado pela ISO 10052, o índice de isolamento único da fachada igual a 32 (3,2) dB, Figura 19.

Figura 19 – Diferença de nível normalizada de acordo com ISO 10052 - Medições de campo de isolamento acústico aéreo de fachadas



Fonte: Autoria própria (2019)

Com base nos resultados, a partir da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), indicados no Quadro 5, da subseção 2.5 deste trabalho, classificou-se o SVV, para ruído classe I, em um nível de desempenho Superior ($D_{2m,nT,w} \geq 30$), atendendo as especificações desta norma de desempenho.

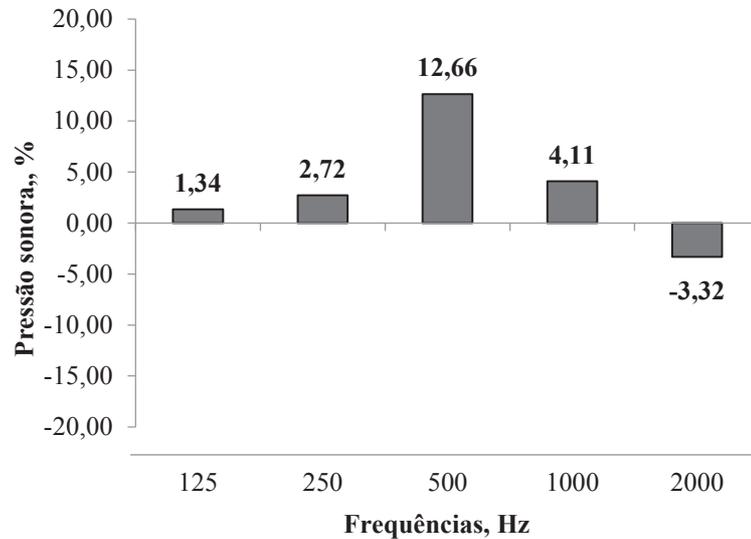
Tendo em vista as classificações e características dos revestimentos analisados, ressalta-se a importância de se obter um revestimento com uma considerável capacidade de isolamento sonoro que atenda aos requisitos mínimos estipulados pela norma de desempenho. Fernandes, Santos e Carvalho (2011) destacam a necessidade de realizar um projeto de arquitetura condizente com os princípios de qualidade ambiente e de conforto uma vez que esta característica contribui para a saúde das pessoas.

4.4.3 Análise comparativa dos SVV – Leitura livre

Ao realizar uma análise comparativa através de uma leitura livre, apenas por medição interna e externa, percebeu-se que o Protótipo 02, com argamassa de revestimento acrescido da mistura de EVA e vermiculita, possui um melhor desempenho acústico, isolando aproximadamente 12,66% (Figura 20) a mais que o revestimento do Protótipo 01, que possui em sua composição argamassa convencional. Esta proporção de isolamento corresponde à banda de 500 Hz uma vez que esta é a frequência de referência que determina o índice de isolamento único de revestimentos.

Em sua pesquisa, Cintra (2013) verificou que argamassas acrescidas de vermiculita possuem uma melhor absorção sonora. Isto indica que argamassas leves deste tipo proporcionam um efeito de amortecimento sonoro, diminuindo a velocidade do som ao passar pela superfície.

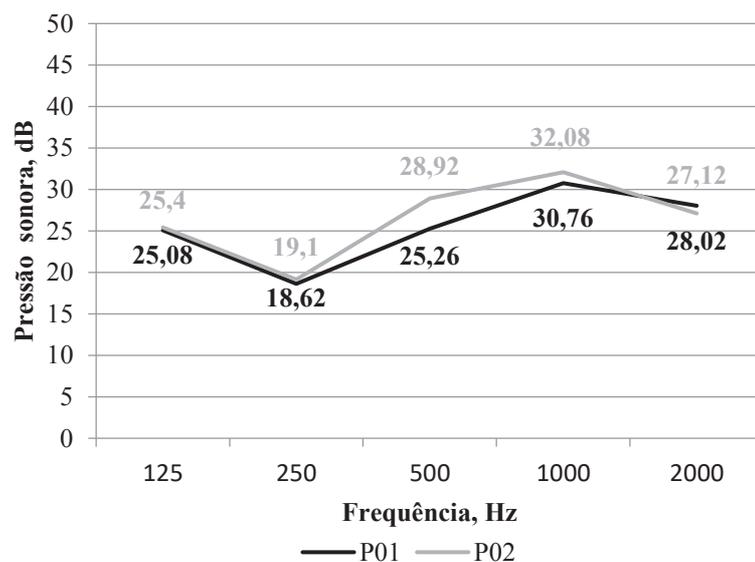
Figura 20 – Diferença entre P02 e P01



Fonte: Autoria própria (2019)

Com relação às demais frequências notou-se que houve um aumento crescente do isolamento acústico entre protótipos, das bandas de 125 a 500 Hz. Para as duas últimas frequências, 1000 e 2000 Hz, verificou-se um decaimento na medida em que se aumentava a frequência, momento no qual, para a alta frequência de 2000 Hz, o isolamento do Protótipo 01 superou o isolamento do Protótipo 02 (Figura 21).

Figura 21 – Diferença entre leituras internas e externas



Fonte: Autoria própria (2019)

A melhora significativa do isolamento acústico no Protótipo 02 se dá através de amplos aspectos. Como já discutido na subseção 4.3.1, as argamassas que possuem EVA e vermiculita em sua composição são porosas. Para mais, este tipo de argamassa possui uma baixa densidade, tanto no estado fresco como exposto no subitem 4.2.3, como no estado endurecido explanado no subitem 4.3.2, resultando desta forma, no que Cintra (2013) mencionou como um alto potencial de isolamento acústico. Esta esclarece que argamassas que dispõem de alta porosidade e baixa densidade, possuem propensão a um melhor isolamento acústico.

5. CONCLUSÃO

A partir de toda a discussão acerca das propriedades referentes às argamassas de revestimento, no estado fresco e endurecido, perante a NBR 13281 (ABNT, 2005), e análise do critérios de desempenho acústico da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), considerando os efeitos da inserção da mistura de EVA e vermiculita em argamassas de revestimento, conclui-se que:

I – A adição simultânea de EVA e vermiculita, em proporção baixa com relação à massa da areia, em argamassas de revestimento não interfere de forma negativa nas principais propriedades da argamassa no estado fresco. Para a adição em questão, 1,25%, houve melhora das características em se tratando de retenção de água e densidade.

II – No estado endurecido verificou-se que a inserção de EVA e vermiculita na argamassa aumenta a absorção de água por capilaridade e diminui a densidade de massa aparente. Com relação às características mecânicas, a adição provocou uma diminuição da resistência à compressão axial e da resistência à tração na flexão.

III – Com relação à NBR 13281 (ABNT, 2005) pode-se classificar a argamassa de revestimento T01 como P6, M5, R4, C5, D5, U4, e a argamassa de revestimento T02 como P5, M5, R3, C5, D5, U4.

IV – Do ponto de vista acústico, as argamassas que contém EVA e vermiculita em sua composição demonstraram possuir um melhor potencial de isolamento sonoro. Ambos os revestimentos possuem, segundo a norma de desempenho NBR 15575-4 (ABNT, 2013), um nível de isolamento sonoro superior.

Portanto, ressalta-se que neste trabalho foram estudadas argamassas convencionais e com adição do composto de EVA e vermiculita. Contudo, buscou-se realizar todos os procedimentos de acordo com as normas vigentes a fim de atender aos requisitos das normas de desempenho NBR 13281 (ABNT, 2005) e NBR 15575-4 (ABNT, 2013) uma vez que é necessário considerar situações de conforto para o usuário bem como, de viabilidade com relação às argamassas.

Na pesquisa, teve-se como um dos objetivos a utilização de um resíduo industrial que agregasse em propriedades importantes às argamassas, o EVA, material inerte quimicamente, que possui características de isolamento sonoro o que leva a um dos principais focos da pesquisa, a verificação das condições de isolamento acústica de um protótipo residencial construído com revestimento com adição do próprio EVA e da vermiculita, material de

origem natural que possui características de isolamento sonoro, em comparação com outro protótipo possuindo revestimento sem adição. Desta forma, é possível concluir que todos os objetivos foram realizados com êxito tendo em vista a problemática e a justificativa exposta.

Destaca-se, ainda, que o aumento de 12,66% no isolamento acústico do Protótipo 2 em relação ao Protótipo 1 indica um bom resultado tendo em vista que este representa o quanto o SVV 2 poderá isolar a mais que o SVV 1, tornando-se, desta forma, bastante significativo para ruídos de médio e alta intensidade. Contudo, salienta-se que para utilização deste tipo de argamassa é necessário que, em paralelo, empregue-se um sistema de impermeabilização capaz de suprir as necessidades do revestimento quanto a infiltrações causadas pela porosidade da argamassa.

Por fim, entende-se que o composto de EVA e vermiculita, em proporções ideais, como adição em argamassas de revestimento é uma alternativa viável para alcançar um SVV que melhore as condições de conforto acústico sem que haja interferência brusca nas propriedades do revestimento.

6. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 26. Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248. Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 52: Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 45: Agregados: Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 27: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15259. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – 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.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência, 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. 2005

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-1. Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 1: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-4. Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11355. Vermiculita expandida – Análise granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12179. Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS CALÇADISTAS - ABICALÇADOS. ABICALÇADOS apresenta Relatório Setorial 2019. Disponível em: <http://www.abicalcados.com.br/noticia/abicalcados-apresenta-relatorio-setorial-2019>. Acesso em: 01 out. 2019.

ANDRADE, É. S.; GUIMARÃES, C. C. Propriedades de argamassas com eva (ethylene vinyl acetate) em substituição parcial ao agregado. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, 2017.

BRANCHER, L. R. *et al.* Acoustic Behavior of Subfloor Lightweight Mortars Containing Micronized Poly (Ethylene Vinyl Acetate) EVA. **Materiais**, v. 9, n. 51, p. 1-9, 2016.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010, p. 1.

BROSLER, T. M. **Materiais não convencionais na construção civil**: presente, passado e futuro no processo de conhecimento dos assentados de Mogi Mirim-SP. 2011. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2011.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 885-936.

CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassa de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. 2009. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CINTRA, C. L. **Argamassa para revestimento com propriedades termo acústicas, produzida a partir de vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus**. 2013. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2013.

FERNANDES, J. C.; SANTOS, L. N. dos; CARVALHO, H. J. M. de. Avaliação de desempenho acústico de um consultório odontológico. **Produção**, v. 21, n. 3, p. 509-517, 2011.

FIGUEIREDO, F. G. de; SILVA, V. G. da. Processo de Projeto Integrado: recomendações para empreendimentos com metas rigorosas de desempenho ambiental. **PARC – Pesquisa em Arquitetura e Construção**. Campinas, SP, v. 1, n. 5, p. 1-30, 2010.

FIORINO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. 2ª ed. São Paulo: PINI, 2009.

FRIEDRICH, A. F. **Avaliação da contribuição do revestimento na isolação sonora de paredes de alvenaria**. 2010. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2010.

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de e.v.a. (ethylene vinyl acetate) como agregado para concreto leve na construção civil**. 1998. Dissertação (Mestrado), Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 1998.

Holanda, E. P. T. D. **Novas tecnologias construtivas para produção de vedações verticais: diretrizes para o treinamento da mão-de-obra**. 2003. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, 2003.

ISO: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10140-2**, Acoustics – Measurement of sound insulation of building elements – Part 2: Laboratory measurements of airborne sound insulation.

ISO: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-4**, Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms.

ISO: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-5**, Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades.

ISO: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1**, Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 1: Airborne sound insulation

ISO: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10052**, Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method.

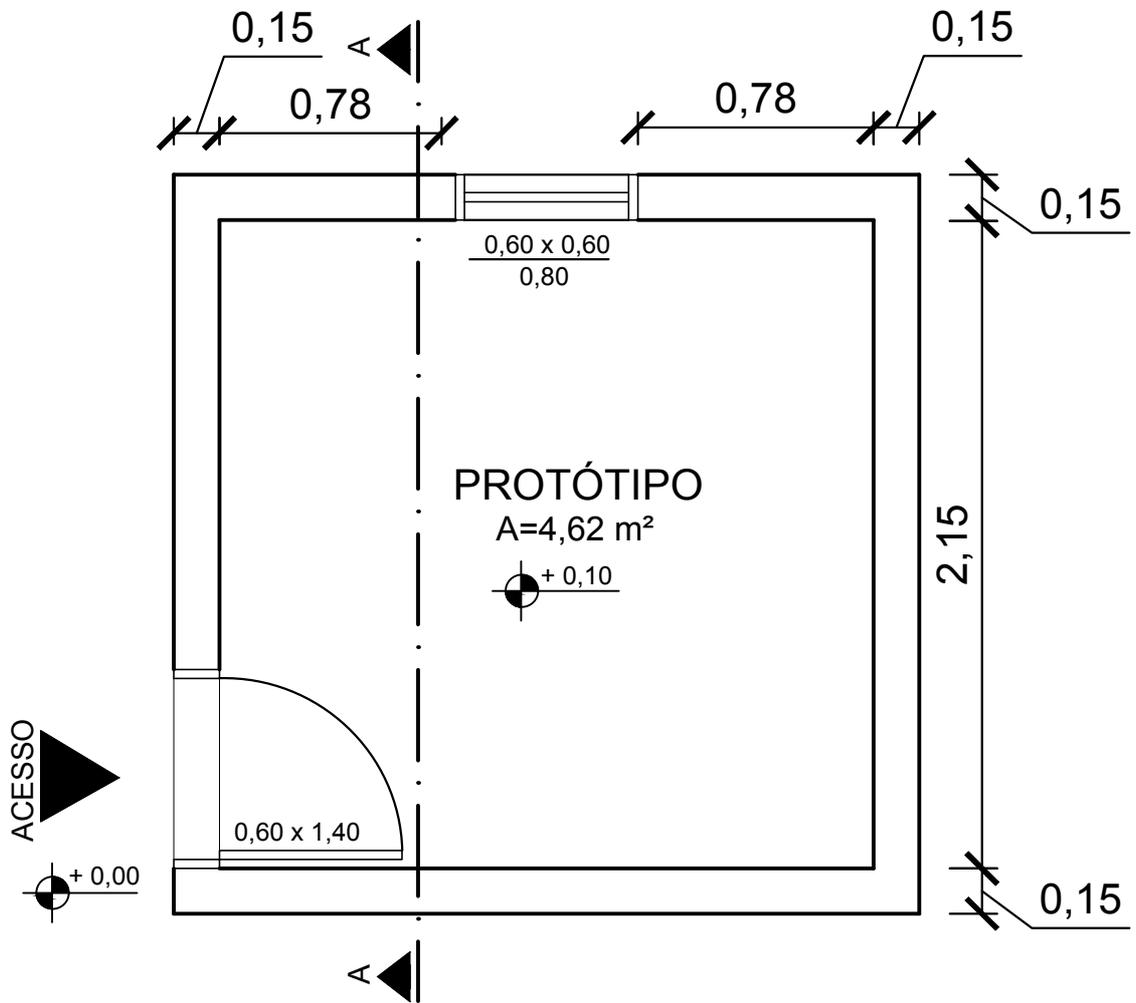
- LUCAS, D.; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em agronegócio e meio ambiente**, v. 1, n. 3, p. 405-418, 2008. ISSN 1981-9951.
- MARTINS, J. G.; ASSUNÇÃO, J. **Materiais de Construção**: Argamassas e Rebocos. 1ª ed., 2004.
- MARTINS, F. G. **Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte**: estudos de caso. 2012. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – USP. São Carlos – SP, 2012.
- MATEUS, D. Acústica de Edifícios e controlo de ruído. Textos de apoio à disciplina “Acústica Aplicada”, DEC-FCTUC, Coimbra, 2008.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. Ed.:PINI. 1994. p. 573
- MENEZES, F. Y. M., et al. Adição de EVA e vermiculita em argamassas de revestimento: análise do desempenho térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu – PR. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- ORTH, C. M.; BALDIN, N.; ZANOTELLI, C. T. **A geração de resíduos sólidos em um processo produtivo de uma indústria automobilística**: uma contribuição para a redução. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 21, n. 2, Jun. 2014.
- PAIXÃO, D. X. D. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)**. 2002. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002.
- PINTO, T. de P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 1999.
- POLARI FILHO, R. S.; MELO, A. B.; BARBOSA, N. P. A reciclagem de resíduos da indústria de calçados (EVA) na execução de painéis de vedação na construção civil: avaliação de desempenho. **II ENCONTRO TEMÁTICO MEIO AMBIENTE E EDUCAÇÃO AMBIENTAL - João Pessoa**, v. 9, 2003.
- REIS, E. **Vermiculita no Brasil**: situação atual. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2002. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/a-finep/fontes-de-orcamento/fundos-setoriais/ct-mineral/vermiculita-no-brasil.pdf>. Acesso em: 12 de Out. de 2019.
- ROCHA, F. de M. D. **Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca**: bloco EVA - intertravamento e racionalização das alvenarias. 2008. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2008.

ROCHA, F. M. D. et al. Pré-moldado (bloco EVAi) para alvenaria intertravada: projeto, produção, desempenho e simulação de uso em habitação social. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, p. 47-60, 2013.

SIMÕES, F. M. *et al.* **Acústica arquitetônica**. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2011.

UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.. Vermiculita. IN: **Rochas e Minerais Industriais no Brasil**: usos e especificações. 2ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 865-887.

APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO DOS PROTÓTIPOS



INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA - CAMPUS CAJAZEIRAS

CURSO:
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

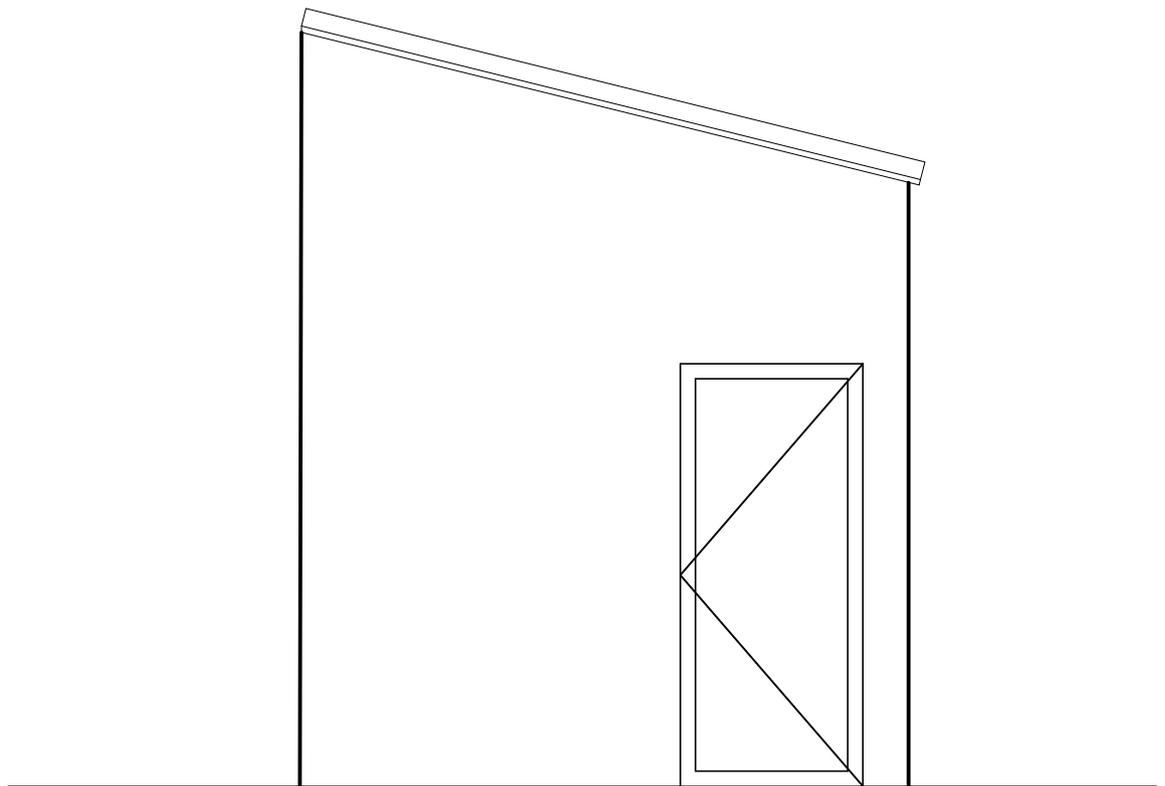
DISCENTE:
FRANCISCO YGOR MOREIRA MENEZES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DATA:
14/10/2019

ASSUNTO:
PLANTA BAIXA DE CÔMODO RESIDENCIAL - PROTÓTIPO

PRANCHA:
1/6



Escala 1/25

INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA - CAMPUS CAJAZEIRAS

CURSO:
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

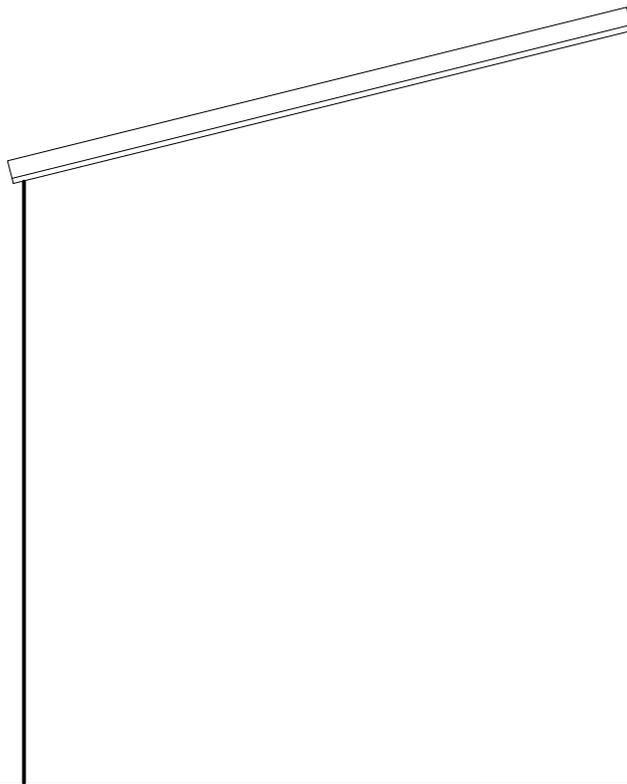
DISCENTE:
FRANCISCO YGOR MOREIRA MENEZES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DATA:
14/10/2019

ASSUNTO:
FACHADA OESTE - PROTÓTIPO

PRANCHA:
2/6



Escala 1/25

INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA - CAMPUS CAJAZEIRAS

CURSO:
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

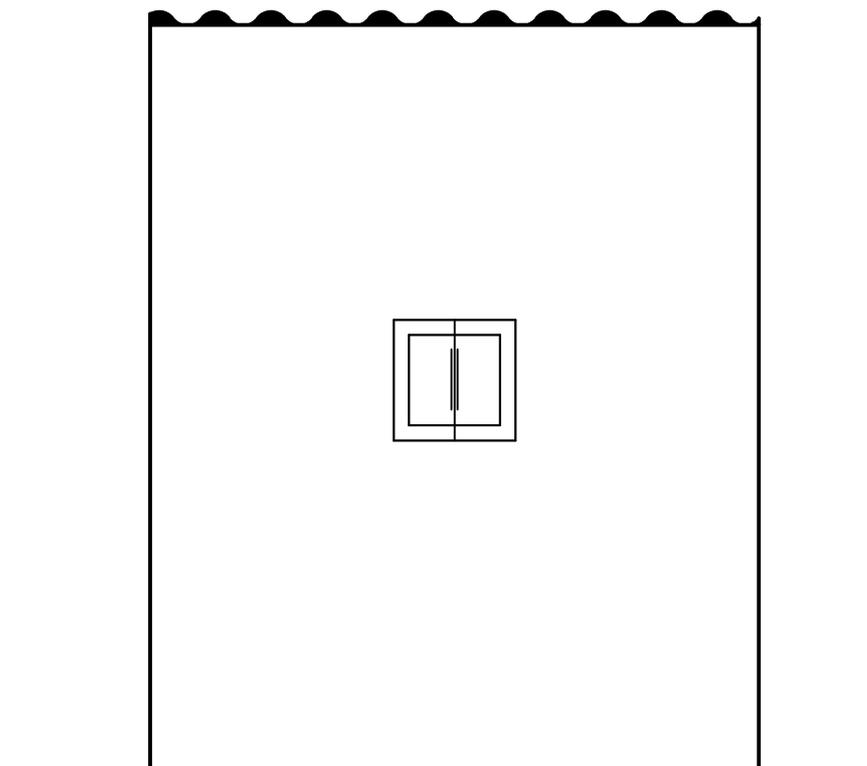
DISCENTE:
FRANCISCO YGOR MOREIRA MENEZES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DATA:
14/10/2019

ASSUNTO:
FACHADA LESTE- PROTÓTIPO

PRANCHA:
3/6



Escala 1/25

INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA - CAMPUS CAJAZEIRAS

CURSO:
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

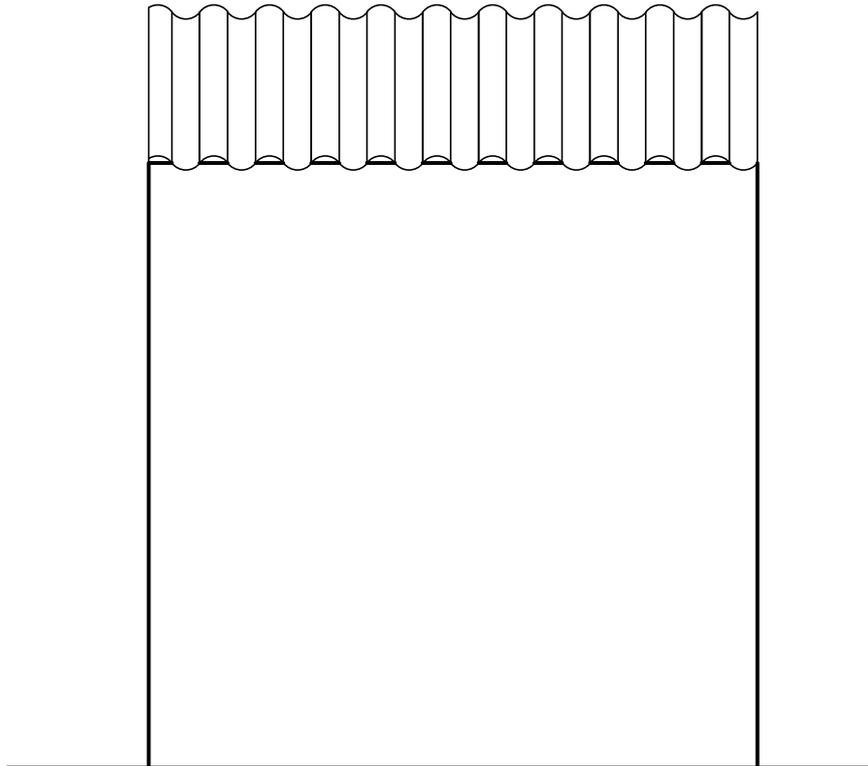
DISCENTE:
FRANCISCO YGOR MOREIRA MENEZES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DATA:
14/10/2019

ASSUNTO:
FACHADA NORTE- PROTÓTIPO

PRANCHA:
4/6



Escala 1/25

INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA - CAMPUS CAJAZEIRAS

CURSO:
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

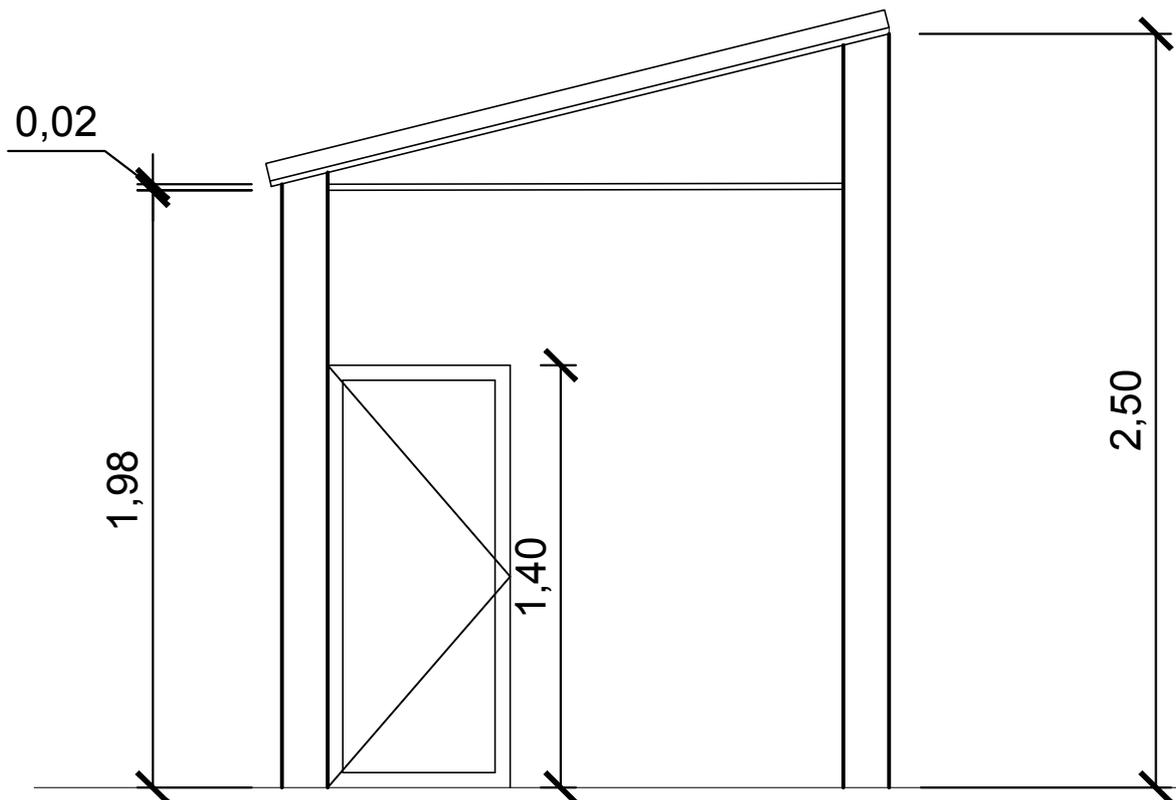
DISCENTE:
FRANCISCO YGOR MOREIRA MENEZES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DATA:
14/10/2019

ASSUNTO:
FACHADA SUL- PROTÓTIPO

PRANCHA:
5/6



Escala 1/25

INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA - CAMPUS CAJAZEIRAS

CURSO:
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

DISCENTE:
FRANCISCO YGOR MOREIRA MENEZES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DATA:
14/10/2019

ASSUNTO:
CORTE AA - PROTÓTIPO

PRANCHA:
6/6