

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RAFAEL SWAROWSKY

**ANÁLISE ACÚSTICA COMPARATIVA ENTRE PAREDES DE GESSO
ACARTONADO, ALVENARIA CONVENCIONAL E ESTRUTURAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO-PR

2019

RAFAEL SWAROWSKY

**ANÁLISE ACÚSTICA COMPARATIVA ENTRE PAREDES DE GESSO
ACARTONADO, ALVENARIA CONVENCIONAL E ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber.

TOLEDO-PR

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 211

Análise acústica comparativa entre paredes de gesso acartonado, alvenaria convencional e estrutural

por

Rafael Swarowsky

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 13:00 h do dia **07 de Junho de 2019** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Esp. Edi Carlo Waldrich
(União Educacional de Cascavel)

Profª Drª. Silmara Dias Feiber
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Fúlvio N. Feiber
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Fúlvio N. Feiber
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

À Deus, acima de tudo, em me abençoar com a vida, saúde e toda sua serenidade para todas as situações que me acompanharam nesta caminhada;

Aos meus pais, que sempre estiveram presentes com todo seu apoio em longas ligações telefônicas em que eu fraquejava e queria desistir da graduação; com mensagens amorosas pela manhã ou pré-provas; carinho nos finais de semana em que eu os visitava; pelo apoio financeiro e principalmente por nunca desistirem de acreditar em mim;

A Mariele Kreutzfeld por nunca ter se negado a ser meu porto seguro ao longo destas guerras diárias da graduação. Por ter muita paciência e me ensinar a compreender alguns conteúdos do curso, por me cobrar a ser mais organizado e prestativo, e por todo seu amor comigo;

Ao presente professor orientador Fúlvio N. Feiber pela parceria, conselhos e disponibilidade em contribuir no desenvolvimento desta pesquisa. Sempre manteve-se disposto em me ajudar com quaisquer assuntos relacionados ao dia a dia da graduação, mantendo-se alinhado como um amigo, e não apenas como um profissional da área;

Ao grande amigo e professor Ernesto O. Wrasse, que me incentivou diversas vezes a seguir firme, me fez acreditar em meu potencial, me orientou em nossa pesquisa científica e aconselhou em assuntos acadêmicos e da vida;

À equipe Construtora Bettega por ser a extensão da UTFPR, especialmente ao amigo Gabriel Rech dos Santos pela oportunidade de estágio a mim concebida em um momento delicado de minha graduação, ao mestre de obras Renato Luiz de Moura por ter se tornado um ótimo amigo e conselheiro, compartilhando sempre o seu conhecimento, na área de execução de obras, através do dia a dia do estágio. Ao amigo e colega de estágio Francis Roger Lauxen que vivencia ainda as batalhas da graduação, e sempre esteve disposto a debater e compartilhar conhecimentos sobre as áreas de estudo da graduação. Enfim, todos se tornaram parte de uma família longe de casa, minimizando os empecilhos da graduação e do dia a dia;

Aos amigos e colegas de classe que auxiliaram no meu aprendizado, por todas as contribuições, direta ou indiretamente e por me apoiarem sempre quando acreditei que nada mais daria certo.

“É exatamente disso que a vida é feita, de momentos. Momentos que temos que passar, sendo bons ou ruins, para o nosso próprio aprendizado. Nunca esquecendo do mais importante: Nada nessa vida é por acaso. Absolutamente nada! Por isso, temos que nos preocupar em fazer a nossa parte, da melhor forma possível. A vida nem sempre segue a nossa vontade, mas ela é perfeita naquilo que tem que ser.”

Chico Xavier

RESUMO

No processo de adaptação do mercado, uma técnica construtiva e material que vem ganhando cada vez mais mercado no setor da construção civil é o gesso acartonado. Uma importante propriedade abordada nesse estudo, diz respeito ao desempenho acústico de vedações internas, que permite boa capacidade de partição e ainda oferece isolamento acústico. O objetivo foi avaliar a eficácia da técnica construtiva de vedação vertical de ambientes interiores através de chapas de gesso acartonado (com isolantes acústicos) em relação aos sistemas de alvenarias de bloco cerâmico e estrutural, já consolidado na região. A abordagem foi executada através da medição da transferência de ruídos entre as paredes quando colocadas sobre mesmas circunstâncias. Os níveis de pressão sonora coletados foram fruto da média aritmética dos resultados observados ao menos em cinco posições distintas (com distância mínima de 50 centímetros) para efeitos de uma mesma vedação interna. Nota-se que em todas as frequências analisadas, o gesso acartonado sem tratamento acústico apresentou maiores valores de ruído recebido. Para a menor frequência de 1kHz o material que apresentou-se melhor como isolante foi a alvenaria estrutural seguida do bloco cerâmico, lã de vidro e lã de rocha. Já para as frequências de 5 e 8,5kHz a lã de vidro mostrou-se mais eficaz seguida pela lã de rocha, alvenaria estrutural e bloco cerâmico. As vedações em gesso acartonado sem a presença de qualquer isolante apresentou o menor desempenho de absorção de ruídos com uma taxa de 20,81% para 1kHz, 33,29% para 5kHz e 30,18% para 8,5kHz. Com o uso da lã de vidro como isolante essas taxas aumentam em até quase 30% e para a lã de vidro em até 23%. A alvenaria estrutural apresentou o melhor desempenho (53,78%) para a frequência de 1kHz mas é ultrapassada pela lã de vidro e lã de rocha em frequências maiores. A alvenaria em bloco cerâmico não apresentou um desempenho tão bom quanto à estrutural possivelmente devido à densidade inferior de seus materiais. A técnica construtiva em gesso acartonado tem tido um crescimento e desenvolvimento nas obras da região principalmente com relação a compartimentação interna das edificações. Nota-se, entretanto, que poucas são as obras que executam essa técnica com os revestimentos com propriedades isolantes.

Palavras-chave: Acústica; Isolamento; Gesso acartonado; Alvenaria.

ABSTRACT

In the process of market adaptation, a constructive technique and material that has been gaining more and more market in the construction sector is the gypsum board. An important property addressed in this study concerns the acoustic performance of internal seals, which allows good partitioning capacity and still provides acoustic insulation. The objective was to evaluate the effectiveness of the construction technique of vertical sealing of interior environments through gypsum board (with acoustic insulation) in relation to ceramic and structural block masonry systems, already consolidated in the region. The approach was performed by measuring the transfer of noise between walls when placed under the same circumstances. The sound pressure levels collected were the result of the arithmetic mean of the results observed in at least five different positions (with a minimum distance of 50 centimeters) for the same internal sealing. Note that in all analyzed frequencies, acoustic gypsum without acoustic treatment presented higher values of received noise. For the lower frequency of 1kHz the material that presented better as an insulator was the structural masonry followed by the ceramic block, glass wool and rock wool. At the frequencies of 5 and 8.5 kHz glass wool was more effective followed by rock wool, structural masonry and ceramic block. Sealed gypsum seals without the presence of any insulation presented the lowest noise absorption performance at a rate of 20.81% for 1kHz, 33.29% for 5kHz and 30.18% for 8.5kHz. With the use of glass wool as an insulator these rates increase by up to almost 30% and for glass wool by up to 23%. Structural masonry presented the best performance (53.78%) at the frequency of 1 kHz but is surpassed by glass wool and rock wool at higher frequencies. The ceramic block masonry did not perform as well as the structural one possibly due to the lower density of its building materials. The construction technique in gypsum plasterboard has had a growth and development in the works of the region mainly in relation to the internal subdivision of the buildings. It is noted, however, that few works that perform this technique with coatings with insulating properties.

Keywords: Acoustics; Isolation; Gypsum board; Masonry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de Placas.....	20
Figura 2 – Bloco cerâmico com furo prismático.....	24
Figura 3 – Composição de uma parede de alvenaria convencional	25
Figura 4 – Amarração Direta	29
Figura 5 – Amarração Indireta.....	30
Figura 6 – Aplicação de lã de vidro	33
Figura 7 – Aplicação da lã de rocha	33
Figura 8 – Curva da perda de transmissão, PT, de uma partição simples.	35
Figura 9 – Equipamento de emissão	37
Figura 10 – Equipamento de medição.....	38
Figura 11 – Modo de medição acústica.....	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características físicas de chapas de gesso acartonado no Brasil.....	22
Quadro 2 – Categorias de Argamassa	26
Quadro 3 – Impedância de materiais	34
Quadro 4 – Métodos de coleta de ruídos.	39
Quadro 5 – Medições realizadas.....	40
Quadro 6 – Valores médios de pressão sonora (dB)	45
Quadro 7 – Intervalos de pressões sonoras obtidos em campo (dB).....	45
Quadro 8 – Valores médios de cada coleta.....	46
Quadro 9 – Valores máximos de cada coleta.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coleta de dados de alvenaria estrutural	43
Tabela 2 – Coleta de dados do gesso acartonado com isolante lã de rocha	43
Tabela 3 – Coleta de dados do gesso acartonado com isolante lã de vidro	44
Tabela 4 – Coleta de dados do bloco cerâmico	44
Tabela 5 – Coleta de dados do gesso acartonado	44
Tabela 6 – Taxas médias de absorção acústica em cada tipo de vedação vertical ..	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 O EDIFÍCIO E SUAS PARTES FORMADORAS.....	16
2.2 MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE VEDAÇÃO VERTICAL.....	17
2.2.1 Gesso acartonado.....	18
2.2.1.1 Tipos de gesso acartonado.....	20
A) Chapa Standard.....	20
B) Chapas resistentes ao fogo.....	21
C) Chapas resistentes à água.....	21
2.2.1.2 Execução.....	21
2.2.2 Alvenaria convencional.....	23
2.2.2.1 Argamassa.....	25
2.2.2.2 Execução.....	26
2.2.3 Alvenaria estrutural.....	27
2.2.3.1 Projeto.....	28
2.2.3.2 Execução.....	29
2.3 CONFORTO.....	30
2.3.1 Conforto ambiental.....	30
2.3.2 Conforto acústico.....	31
2.3.2.1 Conforto acústico em chapas de gesso acartonado.....	32
2.3.3 Isolamentos.....	32
A) Lã de vidro.....	32
B) Lã de rocha.....	33
2.4 DEFINIÇÃO SOBRE ISOLAMENTO SONORO.....	34
2.4.1 Diferença de impedância.....	34
2.4.2 Lei da massa.....	35
2.4.3 Amortecimento estrutural.....	36
2.4.4 Pressão sonora.....	36

3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1 AREA DE ESTUDO.....	37
3.2 MATERIAIS.....	37
3.3 COLETA DE DADOS.....	38
4 RESULTADOS.....	42
5 CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	52
APÊNDICE 1.....	57
APÊNDICE 2.....	58
APÊNDICE 3.....	59
APÊNDICE 4.....	60
APÊNDICE 5.....	61
ANEXO 1.....	62

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, o setor econômico da construção civil vem sofrendo um processo acelerado de renovação tecnológica em seus métodos construtivos e materiais básicos. A busca por materiais cada vez mais econômicos monetariamente e que desempenhem melhores funções qualitativas, no que diz respeito ao conforto ambiental, é um dos grandes desafios desse processo evolutivo, aponta (PESSANHA; CINTRA; AMORIM, 2002).

Em contrapartida, percebe-se que os usuários e idealizadores das novas edificações possuem, cada vez mais, um nível de exigência maior, fazendo assim, com que seja proposto edifícios que cumpram satisfatoriamente o uso e ocupação dos mesmos, evitando-se então baixas taxas de uso e ocupação.

Nesse processo de adaptação do mercado, uma técnica construtiva e material que vem ganhando cada vez mais mercado no setor da construção civil é o gesso acartonado. Conhecido como sistema construtivo a seco (*Drywall*) devido a sua baixa taxa de geração de resíduos. Segundo as empresas produtoras e pelos entusiastas do ramo, o sistema de vedação interna que utiliza placas de gesso acartonado pré-fabricadas possui vários aspectos positivos a se considerar em uma eventual definição do método construtivo ideal para uma edificação. Alguns destes aspectos são os de baixa geração de resíduos, rápida manutenção e instalação, conforto térmico e acústico.

Uma importante propriedade que será abordada nesse estudo, diz respeito ao desempenho acústico de vedações internas, que permite boa capacidade de partição e ainda oferece isolamento acústico. Assim, o presente estudo trata de uma análise de desempenho acústico, no que diz respeito a sistemas construtivos para vedação interna. Propõem uma comparação quanto a transmissão de ruídos entre divisórias internas em diferentes situações (placas de gesso simples, placas de gesso com tratamento acústico por lãs minerais, alvenaria convencional e alvenaria estrutural), levando-se em conta detalhes da construção, peculiaridades, qualidade da mão-de-obra e as diferenças entre teoria e prática de execução usualmente encontradas nas obras brasileiras.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a implantação da industrialização em diversos setores da economia, os processos industriais têm sido modernizados constantemente. E, afim de acompanhar tal desenvolvimento, o setor da construção civil busca novas tecnologias que alavanquem o desempenho dos setores produtivos em diferentes áreas. Destaca-se dentre outros o ramo das habitações, tendo em vista que este visa minimizar diferenças socioeconômicas e proporcionar melhor qualidade de vida aos usuários.

Levando em conta que o processo convencional de alvenaria para vedação das construções habitacionais (através de tijolos de barro), e da alvenaria estrutural, serem essencialmente resultados da qualificação do serviço desempenhado pelo construtor, acaba-se tendo uma qualidade final do serviço executado não uniformemente em todas as obras.

A elaboração de estratégias, materiais e tecnologias pelos profissionais do ramo devem priorizar a implementação de um gerenciamento sustentável que beneficie a todos os usuários envolvidos, desde quem exerce o serviço tal como quem fará uso do mesmo.

Mais especificamente, a modernização das tecnologias e técnicas empregadas na construção civil apresenta-se como solução afim de potencializar a racionalização dos materiais e processos construtivos. E, portanto, ao criar-se uma normalização dos processos construtivos, estabelecem-se padrões e controles de qualidade, gerando economia, confiabilidade e garantia de prazos de entrega das obras.

Alinhado a esta visão, a interação entre os design arquitetônico e novas tecnologias permitem, por exemplo, a possibilidade de inovar e explorar novas formas para ambientes interiores, e; otimizar recursos com o processo de montagem e desmontagem, flexibilizando não só a construção no momento de sua concepção como também possíveis reutilizações.

Dentro desse contexto, um dos produtos industrializados de alto desempenho funcional, utilizado como vedação vertical em ambientes interiores é o material composto por chapas de gesso acartonado.

A confecção e aplicação de chapas de gesso acartonado são utilizadas há quase cem anos e possuem viabilidade técnica comprovada em uma vasta região do mundo. Porém, como premissa de que esta é uma tecnologia nova no Brasil, se

comparada aos demais métodos construtivos existentes aplicados em nosso território, sua implementação em grande escala passa por uma adaptação do público consumidor, justificada pela disseminação da técnica no país.

Portanto, a melhoria de uma técnica implica em alcançar uma satisfação em relação a situação real, que acontece sob nossos olhos. Assim, melhorar os materiais utilizados para vedação vertical interna é, do ponto de vista técnico, alavancar o número de consumidores. Além disso, a análise deste produto também possui função no levantamento de dados das necessidades e desejos dos consumidores deste material.

Tais aspectos, fazem com que o tema seja atual e relevante, visto que geram grande expectativa a sua aplicação, desempenhando melhores funções quando comparados a outros sistemas construtivos. Assim, justifica-se na medida em que contribuirá para fornecer base na sistematização da tecnologia construtiva.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção, são apresentados o objetivo geral e objetivos específicos do presente trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo geral avaliar a eficácia da técnica construtiva de vedação vertical de através de chapas de gesso acartonado comparando-se em relação aos sistemas de alvenarias com blocos cerâmicos e estrutural, já consolidados na região.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

a) Avaliar e comparar o desempenho acústico da alvenaria convencional versus placas de gesso acartonado (com e sem acessórios acústicos) versus alvenaria estrutural;

b) Analisar a aplicabilidade do método de vedação vertical em gesso acartonado na região oeste do Paraná, no que tange a disponibilidade da técnica construtiva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada a revisão de literatura básica para o presente estudo.

2.1 O EDIFÍCIO E SUAS PARTES FORMADORAS

Para melhor compreensão e ambientalização da estruturação de uma obra de engenharia, é preciso definir algumas categorias de assuntos a serem abordados. Sendo assim, são elencadas alguns elementos da obra: as construções de obras de engenharia constituem-se por um agrupado de uma ou mais peças compatibilizadas em três direções (comprimento, largura e altura). Tal conjunto, deve suportar as cargas que lhe são impostas por meio de solicitações externas, absorvendo-as de modo a transmiti-la aos seus apoios (fundações) (SUSSEKIND, 1981).

Portanto, o projeto estrutural de um edifício (casa, galpão ou prédio) é essencialmente definido pelo dimensionamento dos seus elementos estruturais, conhecidos como lajes, vigas e pilares (FREITAS *et al.*, 2014). Também fazem parte dos projetos as categorias de projetos hidráulicos, projetos elétricos, vedação vertical externa e interna, aberturas, sistemas de prevenção de incêndio, entre outros.

Neste estudo, buscar-se-á abordar a categoria que diz respeito a vedação vertical interna dos elementos construtivos. Conforme descreve Franco (1998), a maior utilidade da vedação vertical está definida como um subsistema do edifício definido por elementos que visam à compartimentação de algumas áreas. Ou seja, criar espaços através de paredes verticais (divisórias) nos ambientes internos, tal como, ao controle e combate da ação de agentes indesejáveis. Adicionalmente, pode servir de suporte e proteção para as instalações do edifício, quando estas forem embutidas.

Com isso, faz-se necessário analisar o modelo construtivo de vedação vertical interno, e, adequá-lo a padrões urbanísticos representados por problemáticas ambientais, sociais, estéticas e funcionais (visto que vedações em gesso acartonado não são comumente aplicados em bairros da periferia por exemplo) (CAMILLO, 2010).

Assim, é extremamente necessário que se preze pela qualidade destas análises de padrões, promovendo obras que satisfaçam à demanda urbana sem que

esta torne-se uma obra inutilizável, e assim, acarrete em danos urbanos e ambientais após sua conclusão (CAMILLO, 2010).

O banco de dados disponíveis e análises sobre os terrenos (localização) facilitam um parecer técnico afim de identificar técnicas e características aplicáveis, cujas quais, registram os possíveis efeitos decorrentes da construção pelo método construtivo adotado, tanto internos quanto externos em relação ao meio ambiente e poluição urbana (CAMILLO, 2010).

2.2 MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE VEDAÇÃO VERTICAL

O setor da construção civil, tal como outros setores da economia moderna, apresenta cada vez mais técnicas e processos de renovação tecnológicos no que diz respeito a maior eficiência geral, seja no custo benefício ou na qualidade de execução (PESSANHA; CINTRA; AMORIM, 2002).

Nos dias de hoje, variadas empresas do ramo da construção civil buscam soluções que aumentem a performance qualitativa e produtiva (PESSANHA; CINTRA; AMORIM, 2002), propondo, portanto, novas metas e desafios aos métodos convencionais existentes, sejam para habitações, estruturas industriais ou edificações em geral.

Assim, permanece a busca incessante por materiais de alto desempenho, com uma gama maior de aplicabilidade, ao mesmo tempo que mantém aspectos igualmente importantes já consolidados, tal como o baixo custo de implantação, manutenção e execução da obra (CAMILLO, 2010).

Outrem, estabelece-se que o comportamento dos usuários dos dias atuais mantém um nível maior de exigência para as construções. Parâmetros qualitativos e quantitativos já não servem mais como critérios diferenciais. Edifícios cujos objetivos primários não são cumpridos satisfatoriamente, podem ter seu uso e ocupação comprometidos, e assim, sofrerem baixa taxa de ocupação devido a escolha e execução de técnicas construtivas (CAMILLO, 2010).

Seguindo-se junto ao desenvolvimento tecnológico, um material que vem ganhando destaque no mercado da construção civil brasileira é o gesso acartonado. Este, é utilizado como um sistema construtivo de vedação interna, comumente associado a baixa geração de resíduos, devido ao método de produção industrializado

e fácil montagem, e por isso, leva o nome de “sistema construtivo a seco” (GERALDO *et al.*, 2017).

Ademais, diversas são as vantagens apresentadas por esse método construtivo, principalmente quando referido a produção do mesmo. Porém, assim como todos os outros métodos construtivos, este também possui aspectos negativos em alguns parâmetros, que nem o mais entusiasta do setor poderia se negar a considerar (GERALDO *et al.*, 2017).

O sistema de vedações verticais é um dos principais sistemas impactantes economicamente em uma obra de edifícios, visto que, influencia em questões de perdas de recursos materiais, perdas de recursos humanos, retrabalho e riscos construtivos (ambientais e urbanos por exemplo). Portanto, faz-se extremamente necessário definir com convicção as demandas do empreendimento, e verificar a aplicabilidade do método proposto (LUSHNIKOVA; DVORKIN, 2016).

2.2.1 Gesso acartonado

O sistema de vedação interna composto por gesso acartonado, comumente conhecido pela patente *Drywall*, é constituído de chapas de gesso aparafusadas em perfis de aço ou de madeira, e as juntas entre as chapas são tratadas com fitas de papel e massa (LAI, 2016). Sua matéria prima é a gipsita, uma rocha de origem sedimentar constituída por cloretos e sulfatos de cálcio, magnésio e potássio. (BARBOSA, 2015)

Para Corbiolli (1995), esse método construtivo tem origem no século XIX, por meados do ano de 1898 nos Estados Unidos da América, e ainda, conforme o decorrer dos anos, devido ao seu comportamento de agilidade de montagem e resistência ao fogo, essas placas foram muito utilizadas durante a grande primeira guerra mundial.

Já no território nacional, esta técnica construtiva apenas teve início ao final do século XX, representando assim uma alternativa inicial na aplicação de forros, e posteriormente para utilização de divisórias (TAPPARO *et al.*, 2016).

Conforme explica Ferreira (2014), em âmbito nacional, a disseminação de sistemas construtivos declarados industrializados, retratam ainda um gravíssimo déficit tendo em consideração a escassez de mão de obra profissional. Evidentemente, a parcela de profissionais que são empregados na aplicação de novas técnicas da construção civil visa diminuir serviços, retrabalhos e custos e, portanto,

acabam conseqüentemente, na maioria das vezes, empregando menores quantidades de funcionários.

Além disso, outra característica resultante dá-se pelos fatores da industrialização que expõem, em muito dos casos, que os trabalhadores da área acabam apenas sabendo exercer funções braçais, e assim, ficam sem áreas de atuação devido a baixa taxa de escolaridade entre os mesmos (TAPPARO *et al.*, 2016).

Porém, Gueiros e Pinguelli Rosa (2001) apresentam que embora tais fatores possam ser empecilhos na propagação de novas tecnologias, os benefícios apresentados, na maioria das vezes, resultam no sucesso do mesmo referente ao público da construção civil.

Ainda segundo os autores, é esclarecido que no caso do gesso acartonado, uma importante propriedade para fins de vedações internas em habitações revela um alto desempenho em oferecer isolamento acústico. Os autores complementam que com a globalização e dinâmica do mundo contemporâneo, tem-se atualmente uma grande necessidade de asilo a fontes sonoras poluidoras.

Barbosa (2015) também atribui que uma das características mais importantes do sistema de vedação composto por gesso acartonado, ocorre pela forma rápida e prática de ser instalada e, portanto, trazendo altos índices de produção no canteiro de obra. Além do mais, tal sistema de construção consegue atribuir vantagens quando comparado a simplicidade de instalações e reparos do ramo de elétrica e hidráulica; pode-se facilmente realizar a divisão de uma sala comercial, escritório ou apartamento, sem maiores resíduos e transtornos que grandes reformas trazem consigo.

Seguindo essa tendência, o carecimento de privacidade dos usuários faz com que se busque o isolamento acústico de forma satisfatória entre partições internas de edificações para habitações, separando assim os ambientes e evitando que os ruídos sejam uma fonte de doenças para o seu entorno, muito comum em grandes centros urbanos brasileiros (BELDERRAIN, 1998).

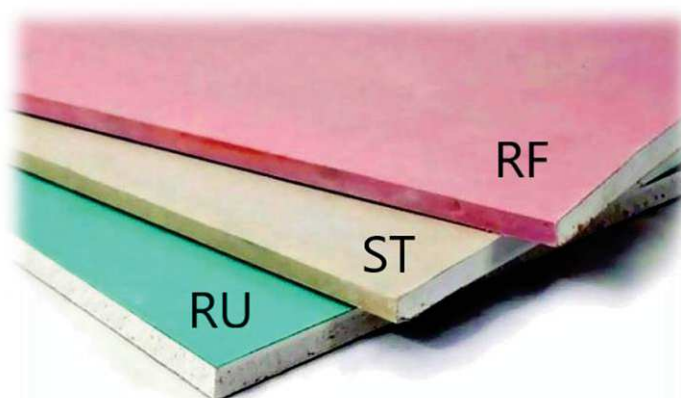
Entretanto, para que esse método construtivo tenha um isolamento acústico que atenda a norma para edifícios residenciais, ele se torna mais caro quando comparado exclusivamente o produto e mão-de-obra utilizada (TAPPARO *et al.*, 2016).

2.2.1.1 Tipos de gesso acartonado

O mercado possui três tipos de chapas de gesso acartonado (Figura 1), as quais são indicadas conforme necessidade de utilização: área molhada, contato com fogo e áreas secas (SILVA, 2016).

A chapa Standard (ST) é indicada para áreas secas como paredes, forros, revestimentos, *shafts* e mobiliários integrados; a chapa Resistente ao Fogo (RF) é indicada para áreas secas que possuam necessidades específicas de resistência ao fogo em paredes e forros e; a chapa Resistente à Umidade (RU) é indicada para a execução de áreas molháveis como banheiros, cozinhas e áreas de serviço (SILVA, 2016) e são regulamentadas pela norma NBR 14715/2001.

Figura 1 – Tipos de Placas



Fonte: Placo do Brasil, 2009.

A) Chapa Standard

“De acordo com a norma americana ASTM C36 (ASTM, 1997), as chapas para uso comum devem ter no seu centro um material não combustível e a superfície deve ser composta por uma camada de papel, que deve estar aderida ao material do centro” (TANIGUTI, 1999).

Essas chapas brancas não devem ser empregadas em ambientes com temperatura acima de 50°C ou umidade relativa permanente superior a 90%, pois nessas condições, as características das chapas podem ser alteradas e comprometer o desempenho da mesma (TANIGUTI, 1999).

B) Chapas resistentes ao fogo

Quando as chapas de gesso são submetidas à altas temperaturas, liberam a água de hidratação do gesso e retardam a transferência de calor. Porém, essa perda de água provoca retração na chapa de gesso, formando fissuras que permitem a passagem do calor (TANIGUTI, 1999).

A chapa resistente ao fogo possui fibras não combustíveis na camada de gesso como vermiculitas e fibras de vidro, que mantêm a integridade da chapa mesmo que ocorra perda de água no gesso (TANIGUTI, 1999). Trata-se de uma chapa de cor rosa que consegue atingir 90 minutos de resistência ao fogo (LABUTO, 2014).

C) Chapas resistentes à água

Para a utilização de gesso em áreas molháveis, o centro da chapa é constituído por gesso e aditivos que o torna resistente à água e as duas superfícies são cobertas por um cartão (verde) com hidrofugante (TANIGUTI, 1999).

Apesar de ser recomendado para ser utilizado em ambientes molháveis, não deve ser usado em áreas expostas constantemente a uma taxa de umidade relativa superior a 95%. Nessas áreas é comum o uso de chapas cimentícias onde a incidência de água ou exposição ao vapor é maior, como no box do banheiro, por exemplo (TANIGUTI, 1999).

2.2.1.2 Execução

O método construtivo de gesso acartonado constitui-se basicamente por três grupos de elementos: as placas de gesso; os elementos estruturais em que as placas são fixadas; e os acabamentos e acessórios, que se caracterizam por aumentar o desempenho do sistema construtivo. Todos estes componentes possuem diversidades de aplicações que adaptam as necessidades específicas de cada obra (LOSSO; VIVEIROS, 2004).

A placa de gesso acartonado simples é constituída basicamente por uma mistura de gipsita natural (composição interna), e então revestida por um papel do tipo “kraft” em ambas as faces. Ainda existem outras placas específicas para diversas aplicações, como banheiros, cozinhas, ou áreas com maior resistência ao fogo. Como

mencionado anteriormente, o que proporciona tais desempenhos específicos é a relação de aditivos incorporados ao gesso (LOSSO; VIVEIROS, 2004).

O quadro 1 apresenta algumas especificidades físicas encontradas nas categorias de placas de gesso encontradas com maior facilidade no território nacional.

Quadro 1 – Características físicas de chapas de gesso acartonado no Brasil

Fabricante	Espessura (mm)	Largura (m)	Comprimento (m)	Resistência à flexão transversal (kN)	Resistência à flexão longitudinal (kN)	Densidade superficial da massa (kg/m ²)
Knauf	12,5	1,20	1,80 a 3,00	0,21	0,60	8,5 a 12,0
Lafarge	12,5	1,20	1,80 a 3,01	0,21	0,55	8,5 a 12,1
Placo	12,5	1,20	1,80 a 3,02	n/d	n/d	n/d

Fonte: IPT, 2002 *apud* (Losso; Viveiros, 2004).

A montagem das chapas de gesso é realizada de forma a fixar as chapas em ambos os lados da estrutura de fixação utilizada (vigas de madeira ou estruturas metálicas leves). Tais estruturas de fixação são então incorporadas até a estrutura principal da edificação (laje, vigas e pilares) de forma a distribuir as cargas existentes (TANIGUTI, 1999).

A sequência de montagem das placas de gesso dar-se-á de forma a fixar primeiramente as placas centrais, e, portanto, realizar o fechamento próximo aos encontros de paredes por último, até a vedação total da superfície. A composição interna da placa de gesso permanece vazia, por onde então poderão passar as tubulações elétricas e hidráulicas de forma prática. Além disso, existem duas formas comuns de instalação das placas em si, onde uma técnica é deixar um pequeno espaço entre cada uma das placas (servindo de junta de dilatação, assim a placa pode absorver pequenas movimentações mecânicas sem gera trincas), ou em deixar essas mesmas juntas de dilatação apenas nos encontros de paredes (juntas de canto), com a mesma finalidade da outra técnica. Também, outras movimentações, como dilatações e retrações térmicas, são absorvidas por ambos os tipos de juntas (TANIGUTI, 1999).

A sequência final da montagem consiste em realizar a vedação entre essas juntas (placa-placa) ou entre os elementos construtivos (laje-placa, por exemplo). Assim, são utilizadas fitas de papel micro vazadas, massas especiais flexíveis e colas

para calafetação. Ao final, as paredes de gesso estão prontas e podem assim receber o acabamento final, permitindo-se utilizar os mesmos acabamentos aplicados comumente em alvenarias (TANIGUTI, 1999).

Quando uma parede possuir aberturas (portas e janelas), geralmente são deixados os vãos vazados, para que posteriormente sejam fixadas as esquadrias. Tal procedimento pode ser realizado por uma das duas alternativas: pela aplicação de espuma expansiva de poliuretano ou por parafusamento de caixilho no perfil metálico (onde deve haver esperas deixadas previamente para tal finalidade) (MIRANDA; ZAMBONI, 2016).

Ainda de acordo com os autores, o procedimento para realização da montagem é a representação da forma mais simples de execução (mais ágil) de uma parede de gesso acartonado, e que também, é o modelo mais utilizado no território nacional, além de possuir o custo mais baixo. Porém, por ser o procedimento mais simples e rápido, não garante que seja o de melhor desempenho em diversas gamas de aplicações.

Afim de melhorar o desempenho em algumas situações, alguns elementos são conjugados e complementares na instalação das chapas de gesso, por exemplo: a utilização de duas ou mais placas sobrepostas afim de melhorar as propriedades térmicas e isolamento acústico do sistema construtivo; a colocação de mantas de lã mineral no vazio interior, também com finalidade de melhorar as propriedades térmicas e isolamento acústico do sistema construtivo; e ainda a utilização de mais elementos estruturais visando a elevação da possibilidade de cargas apoiadas (SANTIAGO; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2016 *apud* MIRANDA; ZAMBONI, 2016).

2.2.2 Alvenaria convencional

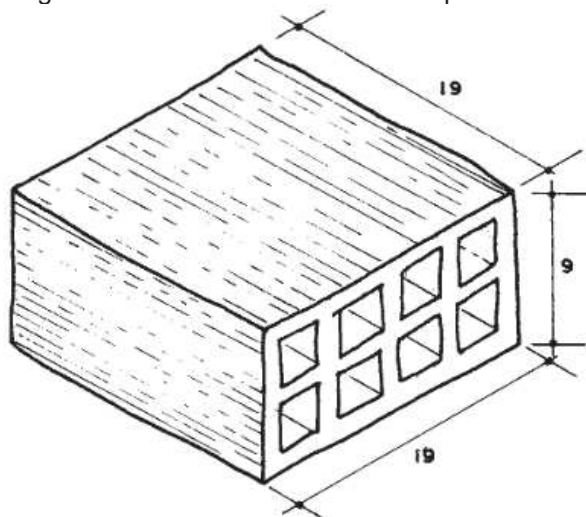
A utilização da cerâmica como função construtiva tem início no período neolítico (entre 12000 e 4000 A.C) e, portanto, sendo considerada uma das mais antigas do mundo. Sua implementação deu-se pela necessidade em que o homem da época precisava armazenar alimentos para manter-se vivo (KAZMIERCZAK, 2010).

Conforme aponta Sabatini (1984 *apud* LIMA, 2012), o método construtivo de alvenaria convencional é definido como um conjunto rígido e coeso composto pelo agregado de blocos ou tijolos com a utilização de uma argamassa de assentamento.

Mais especificamente, no sistema de alvenarias, existem algumas opções de composições e variedades no que diz respeito a forma de execução. Sendo elas podendo ser compostas por tijolos cerâmicos maciços, blocos cerâmicos, blocos de concreto (SALGADO, 2009).

Neste estudo, será abordado apenas os materiais de vedação oriundos de argila, ou seja, blocos cerâmicos que são usados com maior frequência, pois possuem um baixo custo de utilização. Explicando de forma simplificada, tal material passa por um processo de preparação da massa (utilizada para padronizar a dimensão ideal dos grãos e reduzir impurezas da argila), moldagem (em formas e padrões comerciais através de extrusão – retirada de ar da massa), secagem natural ou artificial (de forma lenta para evitar o surgimento de fissuras ou deformações), de queima (em fornos que chegam a atingir temperaturas de 1100°C) e, finalmente resfriamento natural (de forma lenta, podendo variar de 8 a 24 horas). Conforme evidencia Gerolla (2012), após estes cinco processos os blocos estão aptos (Figura 2) a serem submetidos a testes por amostragem, e então, os lotes são estocados para distribuição comercial.

Figura 2 – Bloco cerâmico com furo prismático



Fonte: ABNT - NBR: 15270-1.

Em tais testes devem ser verificados se os blocos possuem enquadramento mínimo de resistência do tipo CLASSE 10, que representa uma resistência mínima de compressão de 1,0 Megapascal (Mpa). Além disso, são verificadas as suas características geométricas, identificação de baixo relevo que contenha gravado em uma das faces a identificação de seu fabricante e dimensão (ABNT - NBR 15270-1).

Em anexo, é mostrado as classes de blocos atuais que são reconhecidas nacionalmente para uso em vedações verticais externas e internas.

2.2.2.1 Argamassa

Importante componente utilizado nas vedações pela técnica de alvenaria convencional, as argamassas são comumente utilizadas em chapiscos, rebocos, emboço, assentamento de blocos e revestimentos (Figura 3), e assim, diferem-se em sua composição para cada uma das funções mencionadas. As argamassas produzidas com cal são designadas para assentamento de alvenarias de vedação e como camada reguladora para reboco e emboço. Para as argamassas mistas, são empregadas em alvenarias estruturais ou de vedação, contrapisos, assentamento de revestimentos cerâmicos (FIORITO, 1994).

Figura 3 – Composição de uma parede de alvenaria convencional



Fonte: Bauer, 1994 *apud* (Barbosa, 2015).

Outra característica importante é a possibilidade de serem produzidas *in loco* ou de forma industrializada. Quando utilizada a argamassa industrializada, a empresa responsável pela produção da argamassa deve identificar a finalidade da argamassa, tal como apresentar laudos que demonstrem sua real composição. Já para as argamassas feitas *in loco*, é necessário que a construtora que utilizará e confeccionará a mistura faça a escolha de seus fornecedores de insumos e estudos de proporção que sejam condizentes com as finalidades, ou seja, que desempenhe sua função com excelência da mesma forma que a industrializada (CEOTTO; BANDUK; NAKAKURA, 2005).

O quadro 2 é definido pela ABNT - NBR 13530 onde são classificadas e definidas algumas categorias de argamassas

Quadro 2 – Categorias de Argamassa

Tipo de Argamassa	Descrição e materiais constituintes
Preparada em obra	Medição e mistura em canteiros de obras de aglomerantes, areia e água, podendo conter aditivos ou adições para melhorias de suas propriedades.
Mistura semipronta para argamassa	Mistura de uma parte dos materiais constituintes da argamassa, com materiais medidos e homogeneamente misturados em fábrica ou canteiro de obras e, fornecida para um último processo de mistura com a adição dos demais materiais constituintes da argamassa no canteiro de obras imediatamente antes de sua aplicação.
Industrializada úmida	Mistura pronta para uso com proporções feitas em central, não necessitando de material adicional
Industrializada seca	Mistura seca pronta, ensacada ou fornecida em silos, necessitando somente de água para preparo.

Fonte: ABNT - NBR 13530.

Independente de qual alternativa de tipo de argamassa seja escolhida para a utilização na execução de uma obra de engenharia, deve-se obrigatoriamente realizar um estudo prévio detalhando quais os possíveis fatores que intervirão na qualidade e produtividade dos serviços (CEOTTO; BANDUK; NAKAKURA, 2005).

2.2.2.2 Execução

Conforme propõem Yazigi (2002), a alvenaria convencional de vedação com blocos cerâmicos não possui função estrutural e, portanto, necessita ser moldada afim de facilitar a utilização de blocos inteiros, além da utilização com argamassa apropriada, criando juntas de amarração entre os blocos.

Conforme a ABNT - NBR 7171, os blocos do tipo cerâmicos não possuem a função de suportar cargas verticais transmitidas por outros elementos estruturais (lajes, vigas, pilares), além das cargas provenientes do seu peso próprio e apenas cargas de ocupação do ambiente.

Complementando-se na ABNT - NBR 15270-1, a vedação vertical com alvenaria convencional tem o objetivo de criar divisórias entre ambientes, e assim isolar o interior da obra do ambiente externo. Além do mais, acarretará em designar características de baixa resistência mecânica, isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo, e primordialmente estanqueidade e durabilidade.

Outro fator importante, é que quando realizado a execução das paredes de alvenaria faz-se necessário promover aberturas (vãos) para realização da instalação de esquadrias, tais como portas e janelas, sendo que as alturas de peitoril e dimensões das aberturas devem respeitar o projeto arquitetônico e as normas reguladoras (NRs) (LOSSO; VIVEIROS, 2004).

Um cuidado extremamente necessário enfatizado pelos autores, é de que sobre essas aberturas de esquadrias, deve-se realizar a execução de pequenas vigas conhecidas como vergas e contra vergas. Quando referindo-se as vergas, estas desempenham papel de redistribuir as cargas provenientes de elementos superiores e laterais da alvenaria e assim, evitar com que haja o fissuramento da alvenaria convencional. No caso das contra vergas, desempenham função de partilhar as cargas concentradas uniformemente pela alvenaria inferior a esquadria.

Para Borges, Montefusco e Leite (1996), realizar as amarrações entre os blocos de alvenaria torna-se necessário a fixação entre os elementos estruturais (pilares e vigas de concreto armado) através de chapisco grosso misturado com argamassa de cimento com areia, além de prender uma pequena tela de aço, a cada duas fiadas de alvenaria, entre a alvenaria e o elemento estrutural.

Ainda segundo Yazigi (2002), deve-se ficar alerta para a junção de paredes e lajes, pois estes são considerados pontos de deflexão destas estruturas, e assim, podem aparecer trincas, fissuras ou destacamentos das alvenarias. Uma maneira de evitar esse problema é com a realização da última fiada através do processo de encunhamento (o tijolo é executado inclinado a 45° em relação ao restante das outras fiadas) ou com argamassa com aditivo expensor.

2.2.3 Alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural é utilizada desde o século XVII quando foram aplicados princípios de estatística para investigar a estabilidade de arcos e domos (HENDRY, 2002 *apud* RICHTER, 2007). Entretanto, encarada como um processo construtivo

voltado para edifícios mais econômicos e, apenas a partir da década de 1970 passou a ser tratada como uma tecnologia da engenharia (RAMALHO; CORREA, 2003). Após anos de desenvolvimento e adaptação, foi consolidada na década de 1980 através da normalização oficial (SABATTINI, 2003).

A construção consiste em blocos dispostos uns sobre os outros unidos com argamassa e encaixe dos mesmos, formando um conjunto coeso e rígido (PASTRO, 2009).

A alvenaria estrutural é muito utilizada em construções verticais com pavimentos tipo e repetições de *layout* e, ao mesmo tempo em que é um elemento de vedação é o elemento estrutural do prédio (PASTRO, 2007). Assim, é recomendável que as paredes de um pavimento estejam apoiadas sobre as paredes do pavimento inferior para que não gerem esforços indesejáveis na estrutura global (GREGÓRIO, 2010).

Não tendo que utilizar vigas e pilares, consegue-se reduzir ou até eliminar alguns itens da obra, como por exemplo, madeira para caixaria e aço, pois são utilizados apenas em alguns pontos (PASTRO, 2007).

2.2.3.1 Projeto

Projetar em alvenaria estrutural implica em acatar certas restrições que são inerentes ao sistema construtivo e é essencial que tenha-se conhecimento das particularidades do sistema (GREGÓRIO, 2010).

Alguns conceitos adotados em projeto são fundamentais para o desempenho da alvenaria estrutural como por exemplo, a coordenação modular. A coordenação modular compatibiliza e organiza a aplicação da técnica através da modulação de blocos pré-determinados (LUCINI, 2001) encaixando os blocos uns nos outros respeitando todas as amarrações e formando um prisma (PASTRO, 2007).

A simetria na disposição das paredes é muito importante para combater esforços de torção resultantes da ação do vento (ACCETTI, 1998).

Para racionalizar o projeto, é importante que o comprimento e a largura dos blocos sejam iguais ou múltiplos para simplificar a amarração das paredes (RAMALHO; CORREA, 2003).

Após a modulação, são inseridos os pontos de graute que servem para dar solidarização à estrutura. Consiste em um concreto bem fluido e com agregados de

pequena dimensão, na maioria das vezes com amarração no interior para suprir necessidades de esforços (PASTRO, 2007).

2.2.3.2 Execução

Depois de pronta a fundação, deve-se demarcar a obra com a primeira fiada de blocos, dispostos exatamente como se encontram no projeto de modulação. Nas próximas fiadas deve-se tomar sempre o cuidado com o nível, esquadros e principalmente prumo mantendo integridade e qualidade dos serviços (PASTRO, 2007).

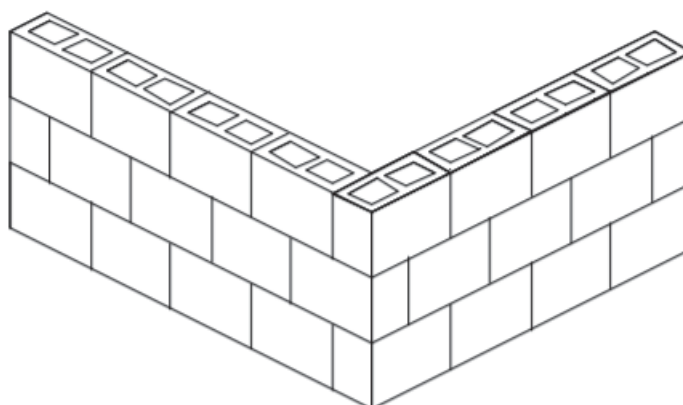
Para a execução do graute o autor ainda explica que abre-se um nicho no bloco da primeira fiada para a limpeza da área aderente, no máximo a cada 6 fiadas. Em seguida, coloca-se o graute no interior da célula com a ajuda de um funil.

O grauteamento exige a interrupção do trabalho de assentamento, sendo que o tempo necessário para grautar é equivalente ao tempo necessário para levantar a parede (ACCETTI, 1998).

E para a união de duas paredes é feita a amarração. Esta, pode ser direta ou indireta (ABNT NBR – 10837):

- Amarração Direta: Feita através da própria disposição dos blocos nas fiadas, com 50% deles penetrando na parede interceptada (Figura 4);

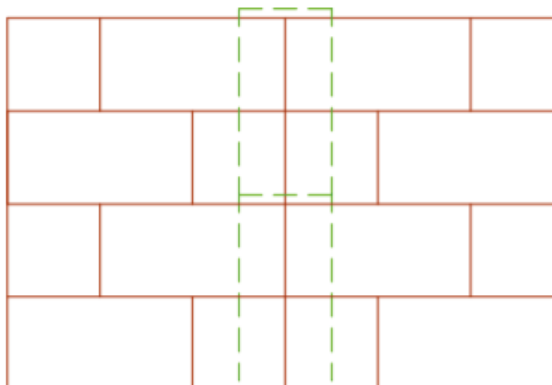
Figura 4 – Amarração Direta



Fonte: Acetti, 1998.

- Amarração indireta: Utiliza-se juntas à prumo e barras ou telas metálicas para que as paredes trabalhem em conjunto e reduzam a fissuração das paredes (Figura 5).

Figura 5 – Amarração Indireta



Fonte: Acetti, 1998.

A amarração indireta deve ser feita caso a união direta não seja possível (SABBATINI, 2003).

2.3 CONFORTO

2.3.1 Conforto ambiental

Visto como um dos pilares que sustentam a busca incessante por novas tecnologias, o conforto ambiental de edificações auxilia para com a demanda social no que diz respeito a obras utilizáveis, ou seja, que não sejam impróprias para fins de uso. Portanto, a base de dados de informações e análises disponíveis de um local projeto de concepção busca organizar metodologias que possibilitem registrar os efeitos colaterais que uma construção possa promover (OCHOA; ARAÚJO; SATTTLER, 2012).

Visando adequar os fins legais (leis e códigos de instrução), grande parte dos municípios brasileiros já disponibilizam de um código de posturas que estabelecem parâmetros aceitáveis à implantação e manutenção de suas edificações. Atualmente existem orientações para atividade geradora de sons e ruídos, índices urbanísticos,

dimensões, áreas mínimas, entre outros fatores dependentes da industrialização da região (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O conforto ambiental das edificações pode ser entendido como adequação ao uso do homem, respeitando condições térmicas, de ventilação, de insolação, de acústica e visual, capazes de alterar o desempenho da edificação e seu contexto urbano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.43).

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) ainda descrevem que embora o ambiente urbano e social que convivemos seja diferente nos mais variados locais de uma cidade, região ou estado, o ser humano tem procurado manter o equilíbrio em seu meio ambiente, fator necessário para manter boas relações sociais, educacionais e comportamentais.

2.3.2 Conforto acústico

Segundo Souza, Almeida e Bragança (2012), atualmente os fatores de conforto ambiental têm gerado maior atenção dos projetistas e urbanistas com maior frequência, visto que novas doenças têm sido descobertas e relacionadas a tais problemáticas. Ainda é colocado em evidência que o conforto acústico é destaque entre os fatores de conforto ambiental, visto que o número de fontes emissoras de ruídos é cada vez maior, tal como os danos causados à sociedade moderna, ou seja, a preocupação acústica deixou de ser apenas um condicionante, mas agora uma preservação da qualidade ambiental.

De forma simples, o conforto acústico é expresso como a não observância de interferências sonoras externas, ou seja, ruídos ambientes, sons emitidos por edificações vizinhas, ou até mesmo pela concentração pública em um espaço urbano (por exemplo praças e calçadas). Assim, para um considerar que uma edificação tem um bom isolamento acústico e, portanto, um conforto acústico elevado, é necessário que quando algum indivíduo estiver presente em um espaço interno da edificação, este não seja apto a detectar sons e ruídos externos a seu espaço (LUCA, 2015).

Assim, quaisquer medidas que visem limitar a propagação sonora de elementos que compartimentam os ambientes do edifício é considerada como uma ação de tratamento de conforto acústico. Para se obter conforto é fundamental atender requisitos e critérios de desempenho, os quais garantam, portanto, privacidade e silêncio (LOSSO; VIVEIROS, 2004).

Além disso, projetos e sistemas que busquem alternativas para o tratamento acústico de ambientes residenciais e comerciais já não podem mais ser considerados como complementares, mas sim como uma necessidade à modernização e mudança de comportamento da sociedade que busca garantir saúde e qualidade de vida (LOSSO; VIVEIROS, 2004).

2.3.2.1 Conforto acústico em chapas de gesso acartonado

Assim como mencionado anteriormente, existem algumas ações que resultam em um melhor desempenho do sistema de vedação interna composto por chapas de gesso acartonado que aumentam o desempenho no que diz respeito ao isolamento acústico de ambientes residenciais e comerciais.

Alguns dos fatores que influenciam no desempenho acústico da divisória são apresentados abaixo, conforme TANIGUTI (1999):

- Espessura das chapas de gesso;
- Tipos de chapas de gesso empregadas;
- Número de chapas em cada face da divisória;
- Emprego ou não de isolante acústico;
- Características do isolante acústico;
- Existência ou não de aberturas na divisória.

2.3.3 Isolamentos

Para melhorar o desempenho acústico podem ser aplicados alguns elementos isolantes como lã de vidro, lã de rocha (SILVA, 2016). Ambos são constituídos por fibras que diferem entre si quanto à matéria prima básica e o processo de fabricação.

A) Lã de vidro

É uma manta de lã mineral que pode ser aplicada em revestimentos (Figura 6) e sobre forros garantindo alta performance de isolamento acústico e térmico (SILVA, 2016).

Figura 6 – Aplicação de lã de vidro

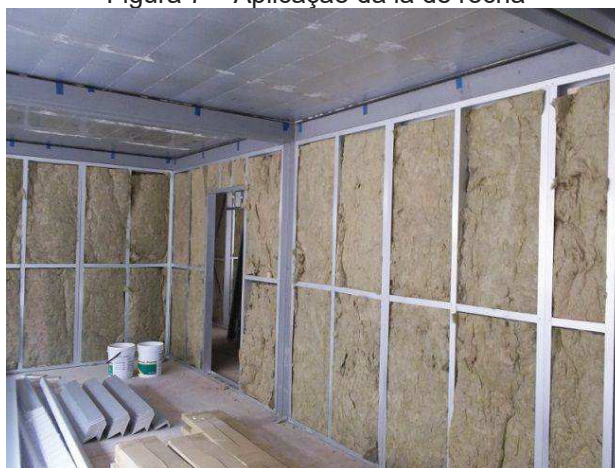


FONTE: AESIEAP, 2018.

B) Lã de rocha

Fibras de diábase compostas por algum aglutinante de resina. Durante o processo de produção, as fibras são prensadas na densidade e espessuras desejadas formando placas rígidas, semirrígidas, feltros e flocos (Figura 7).

Figura 7 – Aplicação da lã de rocha



Fonte: Quanto Custa, 2018.

É considerada excelente isolante térmico para equipamentos e tubulações industriais ou isolamento acústico podendo ser aplicada em forros, paredes ou sob pisos flutuantes (SILVA, 2016).

2.4 DEFINIÇÃO SOBRE ISOLAMENTO SONORO

A propagação sonora entre dois ou mais ambientes pode ocorrer basicamente de duas maneiras: através do ar ou da transmissão via sólido. Assim, para uma partição (vedação vertical) ser considerada como um isolante sonoro, este, deve ser capaz de proporcionar razoável barramento de propagação do som por vias aéreas e via sólido.

2.4.1 Diferença de impedância

De maneira simplificada, a impedância é resultado de quando um determinado material gera uma resistência, e assim, gasta energia na forma de calor. Porém, se o componente não gasta energia em forma de calor, gera-se o efeito conhecido por reatância. Assim, quando temos um material em que existe o efeito de reatância e de resistência temos o que é conhecido por impedância (LOSSO; VIVEIROS, 2014).

A capacidade de acoplamento da energia sonora ao passar por uma mudança de meio, no caso fluído sólido, ou ar-parede, é inversamente proporcional a diferença de impedância entre os meios (LOSSO VIVEIROS, 2014, p.4).

Assim, materiais que possuam um valor de impedância muito diferente quando comparados com o ar, permitirão um menor desempenho de acoplamento, e portanto, menor transmissão de energia sonora, resultando em uma maior capacidade de isolamento acústico onde estiver aplicado (LOSSO; VIVEIROS, 2014).

O quadro 3 contextualiza os valores conhecidos para alguns materiais comumente empregados no setor da construção civil.

Quadro 3 – Impedância de materiais

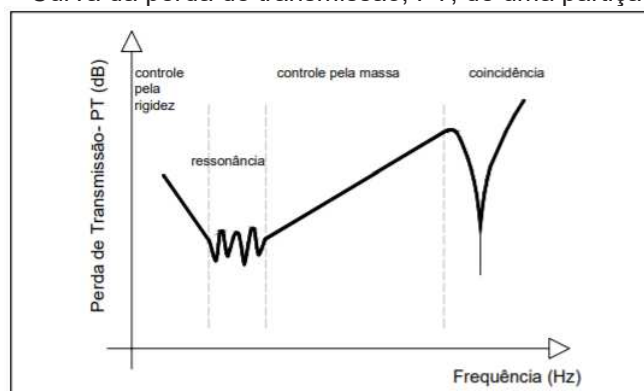
Material	Densidade (kg/m ³)	Velocidade do som (m/s)	Impedância (Rayls)
Chumbo	11300	1200	1,36E+07
Aço	7700	5050	3,89E+07
Alumínio	2700	5150	1,39E+07
Concreto	2600	3100	8,06E+06
Vidro	2300	5200	1,19E+07
Tijolo	100	3700	6,66E+06
Borracha	1100	1450	1,54E+06
Gesso	960	600	6,52E+06
Cortiça	240	500	1,25E+05

Fonte: Adaptado pelo autor (Losso; Viveiros, 2014).

2.4.2 Lei da massa

A transmissão da energia sonora por um sólido será definida consequentemente pela frequência sonora incidente. Visto isso, diferentes faixas de frequências resultam diretamente em padrões distintos de transmissão sonora. A Figura 8 demonstra uma típica curva da Perda de Transmissão, PT, para um material não especificado, ao longo da frequência.

Figura 8 – Curva da perda de transmissão, PT, de uma partição simples.



Fonte: Gibbs, 1998 *apud* (Losso; Viveiros, 2004).

Simplificando-se de uma forma geral, os parâmetros que definem o desempenho de isolamento de uma vedação vertical consistem, basicamente, na razão da energia sonora incidente (proveniente de um emissor) sobre a energia sonora transmitida (absorvida e transmitida – receptor), expressa na unidade de decibéis (PAZOS, 2015).

O local definido com medida pela massa é extremamente significativa para a maioria dos casos no que diz respeito a acústica de edificações. Tal região tem seu comportamento conduzido pela massa da partição (vedação vertical). Consequentemente, para que uma parede proporcione maior taxa de isolamento sonoro, faz-se necessário que ela seja constituída por materiais de baixa densidade, porosos e/ou espessuras significativas (por exemplo paredes de chapas duplas) (EGAN, 1988). Complementando-se, visualiza-se que as vedações internas de alvenaria por tijolos furados, paredes de madeira, além de materiais leves em geral não apresentam desempenho satisfatório, exceto para o caso das lãs minerais.

Para os casos de a frequência do som incidente compatibilizar com a frequência de ressonância (frequência natural) da parede, o isolamento acústico

ofertado penderá significativamente, dado que a parede passará a vibrar com grande abrangência, apresentando, então, efetiva radiação sonora (EGAN, 1988).

2.4.3 Amortecimento estrutural

Para os casos que aconteçam transmissão sonora por sólido, a energia sonora recebe uma eficaz passagem de espalhamento através dos materiais usualmente empregados no setor da construção civil. Ainda assim, quando emissor sonoro qualquer se acopla a uma superfície sólida (por exemplo prego raspando em uma parede), o som poderá ser propagado rapidamente para regiões distantes e pode sentir um aumento no nível de pressão sonora através da maior radiação para os ambientes, ou através da combinação da frequência de ressonância do material com a frequência da energia sonora incidente na superfície (PAZOS, 2015).

Bistafa (2011) indica que nas instalações hidráulicas prediais, os ruídos são originados desde as vibrações dos sistemas de recalque d'água até o sistema de esgotamento, se propagam pela estrutura da edificação e conseqüentemente para os ambientes internos. Ainda conforme o autor, boa parte em que ocorrem tais situações emissoras de ruídos poderiam ser evitadas se um projeto abrangente que empregasse materiais e aparelhos com características acústicas controladoras fosse realizado.

Assim como a diferença de impedância pode evitar a transmissão sonora, a utilização de estratégias no sentido de se evitar a transmissão de um material para o outro é um dos meios mais importantes para anular a transmissão via sólido. Isso pode ser obtido com a utilização de materiais resilientes entre uma partição e uma fonte sonora ou entre diferentes componentes de uma parede, tal como acontece com as lãs minerais (BATISTA; SLAMA, 1996).

2.4.4 Pressão sonora

A resposta do som (percepção), ou nível sonoro (volume em que o som é emitido), é definido como o nível de pressão sonora que chega aos receptores do ouvido humano (MOSCATI, 2013). Fisicamente falando, essa pressão é caracterizada pela alternância de pressão ocasionada pelo fluxo gerado pelo som no ar, e, à essa variação de pressão deslocada é conhecida a pressão sonora (MÉNDEZ, 1994).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, são apresentados os materiais e métodos do presente trabalho.

3.1 AREA DE ESTUDO

Esta pesquisa teve como objetivo estudar e comparar a capacidades de isolamento acústico de diferentes composições de edificações com fechamento vertical interno de gesso acartonado, através de comparativas com a alvenaria convencional de blocos cerâmicos e alvenaria estrutural. A abordagem foi executada através da medição da transferência de ruídos entre as paredes quando colocadas sob mesmas circunstâncias, evitando-se assim interferências que pudessem prejudicar a observação e análise.

Com isso, o estudo teve coleta em diferentes pontos da cidade de Toledo – Paraná, com o cuidado em diminuir as interferências de ruídos externos não interessantes nesta pesquisa.

3.2 MATERIAIS

O equipamento utilizado para a emissão do som para análise do isolamento acústico foi o alto falante portátil *Charge 3*, da marca JBL (Figura 9), com potência nominal de 20W ao utilizar a bateria, com uma resposta de frequência compreendida na faixa de 65Hz – 20 kHz(-6dB), com relação de ruído de 80dB (JBL, 2019).

Figura 9 – Equipamento de emissão



Fonte: JBL, 2019.

Já as características do equipamento de medição do nível de pressão sonora (receptor), também conhecido como decibelímetro, foi o de modelo GM-1351, da marca B-Max (Figura 10).

Figura 10 – Equipamento de medição



Fonte: B-MAX, 2019.

É importante evidenciar que o modelo se encontra de acordo com o padrão IEC 60651 e ANSI S1.4 – categoria 2, e sua escala de frequência está compreendida entre 31,5Hz e 8500Hz e faixa dinâmica entre 30dB e 130dB, operando com tempo de resposta de 500ms e desvio padrão de medição de $\pm 1,5$ dB.

3.3 COLETA DE DADOS

Para a verificação das medições, buscou-se edificações que portassem padrões estabelecidos pela ABNT - NBR 10151 (Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento) para coleta de dados e a ABNT - NBR 10152 (Níveis de ruído para conforto acústico) como auxílio na comparação e análise dos resultados.

O objetivo da utilização das normas mencionadas anteriormente é a de estabelecer padrões e condições indispensáveis para a verificação da aceitabilidade de ruídos e sons em edificações.

Visto isso, foi instituído o método para a aferição de ruídos e sons, e assim, permitindo-se estabelecer correções quando os dados coletados apresentem alguma característica especial ou inconformidade. Tecnicamente, a metodologia proposta por norma apresenta testes que abrangem a medição de pressão sonora equivalente (medida em Decibéis – dB) baseado no valor médio da pressão sonora apurada em todo período de medição. A norma ainda apresenta três métodos de coleta de ruídos conforme o quadro 4:

Quadro 4 – Métodos de coleta de ruídos.

Tipo de medição	Descrição
Impulsivo	medição através de impulsos, ou seja, picos de energia acústica com duração menor do que 1s.
Componentes tonais	são caracterizados por ruídos que possuem tons puros (ex: apitos ou zumbidos).
Ruído ambiente	caracterizado pelo nível de pressão sonora no local de medição, sem considerar o ruído gerado pela fonte sonora.

Fonte: ABNT - NBR 13530.

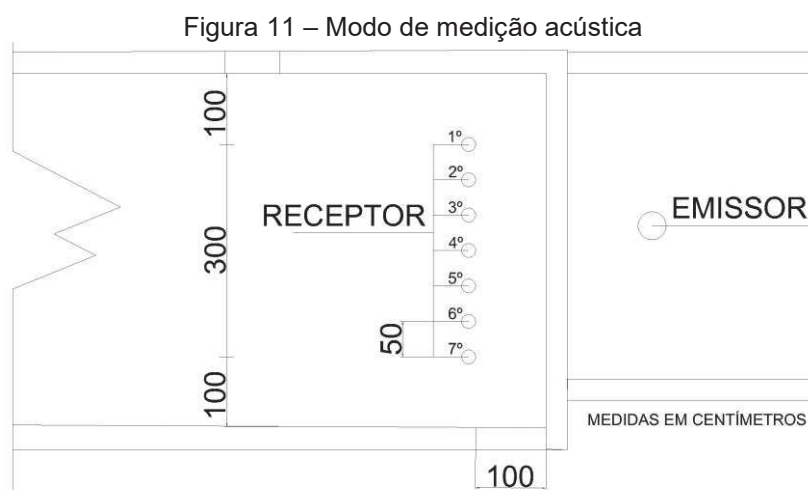
Além de caracterizar os tipos de medições (ruídos) que acontecem no momento das coletas, a norma ainda apresenta de forma clara algumas recomendações afins de evitar interferências externas, e, portanto, manter a precisão do estudo a ser analisado, como é mostrado abaixo:

- Se o ruído apresentar alguma característica especial, deve-se corrigir os valores coletados afim de aumentar o desempenho da avaliação de incomodo a comunidade próxima;
- Fica impedida a medição caso haja alguma interferência audível proveniente de fenômenos naturais de caráter aleatório, tais como chuvas e trovões;
- O intervalo de tempo a ser realizada a coleta dos dados deve permitir a condição da caracterização do ruído em questão. A medição pode envolver uma única amostra ou uma sequência das mesmas;
- Caso haja medições que apresentem valores de caráter fracionado, estes devem ser arredondados para o valor inteiro mais próximo.

Embora as medições sejam realizadas em ambientes internos, deve-se impedir interferências por correntes de ar (ventos) com o uso de protetor no microfone.

Quanto a forma de aferição de dados, as coletas deveriam ser efetuadas a uma distância mínima de 1m de qualquer obstáculo (parede, móvel, tetos, pisos etc).

A Figura 11 exemplifica como foram realizadas as medições em uma hipótese onde a distância lateral entre paredes seja de 500 centímetros, sendo então possível a realização de 7 medições em diferentes posições.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os níveis de pressão sonora coletados foram fruto da média aritmética dos resultados observados ao menos em cinco posições distintas (com distância mínima de 50 centímetros) para efeitos de uma mesma vedação interna.

Deve-se deixar claro que as medições buscaram serem realizadas conforme o quadro 5 proposto:

Quadro 5 – Medições realizadas

Quantidade de medições	Tipo de vedação	Descrição
5	Gesso acartonado simples	executado sem nenhum material isolante acústico
5	Gesso acartonado simples	executado com material isolante acústico do tipo lã de vidro
5	Gesso acartonado simples	executado com material isolante acústico do tipo lã de rocha
5	Alvenaria estrutural	executado sem nenhum material isolante acústico
5	Alvenaria convencional	executado sem nenhum material isolante acústico

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Foi realizada a média dos dados coletados (Equação 1) e no que diz respeito a inconsistência de dados de alguma medição, estas foram analisadas de forma que não devessem apresentar diferença de 5% com relação à média obtida:

$$Média\ sonora = \frac{\sum\ dados\ coletados}{5} \quad (1)$$

Tal metodologia foi aplicada visando um maior rigor na coleta dos dados, retirando-se assim dados não compatíveis que são provenientes de fatores externos, e portanto, seguindo as recomendações da norma.

Por fim, calculou-se as taxas médias que cada material de vedação absorve de ruído (Equação2):

$$Txm = \frac{(Emitido - Recebido) * 100}{Emitido} \quad (2)$$

4 RESULTADOS

Nesta etapa da pesquisa, são apresentados os resultados relacionados ao desempenho acústico das paredes de gesso acartonado em suas distintas configurações. Tais dados são apresentados e simultaneamente justificados, quando comparados a outros estudos já realizados nessa área do conhecimento.

Conforme apresentado na metodologia desta pesquisa, os locais de estudos apresentaram similaridades em questões de padrão de obra, ou seja, todos estes espaços eram condizentes com a faixa de construção conhecida como “médio padrão”, onde os acabamentos e materiais utilizados possuem comumente uma qualidade significativa no desempenho de suas funções. Ademais, todas as obras respeitavam a sugestão da norma em não fazer a análise de dados em locais cuja influência sonora externa (que não representasse a coleta) fosse representativa (NBR-10151), tais como cachoeiras e estações de energia elétrica.

Verificou-se que far-se-ia necessário escolher algumas faixas de frequência em que fossem verificadas a eficácia de todos os locais de estudo no que diz respeito à absorção da pressão sonora emitida por um emissor. Assim, escolheu-se algumas faixas de frequência que podem representar situações diárias, sendo elas e seus devidos exemplos mostrados a seguir:

- 1000Hz – Conversa entre duas pessoas adultas
- 5000Hz – Assobio de um pássaro ou uma furadeira operando
- 8500Hz – Assobio de uma chaleira com água fervendo
- 15000Hz – Barulho de dois componentes metálicos em atrito*

Estas faixas de frequências são abordadas em outros estudos de forma similar, sendo utilizadas para efeitos comparativos com o estudo de Lima e Zenerato (2016).

As coletas foram realizadas de forma a evitar a perturbação sonora externa, ou seja, quando identificado a influência de algum som externo no valor de pressão sonora mostrado no visor do medidor, este era desprezado e uma nova coleta era realizada.

Subsequente, fez-se necessário saber qual era a perturbação natural de cada local, conhecido como ruído ambiente. O valor aferido para este parâmetro foi obtido a partir da maior perturbação sonora ambiente existente antes da emissão do ruído e,

logo após cessar o ruído pela fonte emissora. Este critério foi utilizado tendo em vista que um ruído pode mascarar outro ruído sempre que o nível de pressão sonora entre eles for diferente, conforme explicam Greven, Fagundes e Einsfeldt (2006).

Os dados apresentados nas Tabelas 1 a 5 já foram tratados, ou seja, descartou-se quaisquer interferências que pudessem diminuir a eficácia da metodologia aplicada. A disposição dos locais de posicionamento do receptor e do emissor de pressão sonora estão apresentados nos Apêndices 1 a 5, respectivamente.

Tabela 1 – Coleta de dados de alvenaria estrutural

ALVENARIA ESTRUTURAL				
Ruido ambiente (dB)	39,8	39,6	39,5	39,4
Frequência (kHz)	1	5	8,5	15
	46,5	51,9	59,9	39,4
	50,2	49,5	58,2	39,4
Pressão Sonora (dB)	51,0	49,0	58,3	39,4
	51,5	49,8	57,9	39,4
	46,0	50,8	55,5	39,4
MÉDIA	49,0	50,2	58,0	39,4

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela 2 – Coleta de dados do gesso acartonado com isolante lã de rocha

GESSO COM LÃ DE ROCHA				
Ruido ambiente (dB)	41,7	46,2	41,7	40,7
Frequência (kHz)	1	5	8,5	15
	69,1	54,5	55,4	40,7
	70,0	64,5	52,5	40,7
Pressão Sonora (dB)	68,9	60,2	56,8	40,7
	64,8	49,9	54,4	40,7
	66,5	56,2	51,4	40,7
MÉDIA	67,86	57,06	54,1	40,68

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela 3 – Coleta de dados do gesso acartonado com isolante lã de vidro

GESSO COM LÃ DE VIDRO				
Ruido ambiente (dB)	41,7	40,9	40,9	42,6
Frequência (kHz)	1	5	8,5	15
	59,4	52,6	45,5	42,6
	58,5	48,9	47,6	42,6
Pressão Sonora (dB)	59,4	49,8	46,2	42,6
	58,2	48,1	47	42,6
	59,2	48	49,5	42,6
MÉDIA	58,9	49,5	47,2	42,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela 4 – Coleta de dados do bloco cerâmico

BLOCO CERÂMICO				
Ruido ambiente (dB)	39,8	39,6	40,0	39,5
Frequência (kHz)	1	5	8,5	15
	53,1	61,2	64,9	39,5
	56,1	62,3	65,3	39,5
Pressão Sonora (dB)	55,2	62,5	64,0	39,5
	55,1	62,1	63,1	39,5
	54,9	62,1	62,3	39,5
MÉDIA	54,9	62,0	63,9	39,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela 5 – Coleta de dados do gesso acartonado

GESSO ACARTONADO				
Ruido ambiente (dB)	42,5	42,9	42,3	41,4
Frequência (kHz)	1	5	8,5	15
	82,7	68,8	79,3	41,4
	84,3	66,8	78,4	41,4
Pressão Sonora (dB)	84,2	66,8	81,6	41,4
	84,5	64,9	81,5	41,4
	84,4	68,6	80,3	41,4
MÉDIA	84,0	67,2	80,2	41,4

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Ressalta-se que fora verificado a média dos dados para uma margem de confiança pré-estabelecida de 95%, e assim, os únicos valores que não obtiveram satisfatório resultado foram os de frequência 5kHz para o caso da lã de rocha, onde o intervalo de dados extrapolou em $-2,3\%$ e $+2,8\%$ (visto que o equipamento menciona que para cada uma das medições o seu erro associado pode ser de até 1,5dB). Com isso, pode-se afirmar que a medição seguiu com eficácia as recomendações sugeridas pela norma quanto a coleta de dados.

A fins de comparação, no quadro 6, estudado e disponibilizado por Greven, Fagundes e Einsfeldt (2006) são definidos exemplos de valores de pressão sonora que exemplificam locais e situações do cotidiano.

Quadro 6 – Valores médios de pressão sonora (dB)

Ruído (dB)	Situação/Local
0 – 10	Laboratório acústico , à prova de ruído
10 - 20	Estúdios muito isolados acusticamente
20 – 30	Interior de uma grande igreja
30 – 40	Conversa em voz moderada
40 - 50	Sala de Escritório
50 – 60	Lojas/ruas residenciais
60 – 70	Rua de tráfego médio/fábrica média
70 - 80	Orquestra Sinfônica
80 – 90	Rua muito barulhenta
90 – 110	Passagem de um trem subterrâneo
110 - 120	Trovão muito forte/Turbina de avião a 100m
130	Turbina de avião a 25m/Limiar da dor

Fonte: Greven; Fagundes; Einsfeldt, 2006.

Os autores ainda fornecem mais uma relação que representa valores obtidos em campo (Quadro 7), e estes, caracterizam intervalos de impressões sonoras relativas à pressão sonora emitida.

Quadro 7 – Intervalos de pressões sonoras obtidos em campo (dB)

Ruído (dB)	Sensação
0 – 10	Silêncio anormal
10 - 30	Muito quieto
30 – 50	Calmo
50 – 70	Música e ruídos comuns
70 - 90	Barulhento
90 – 110	Desagradável, penoso
110 – 130	Insuportável

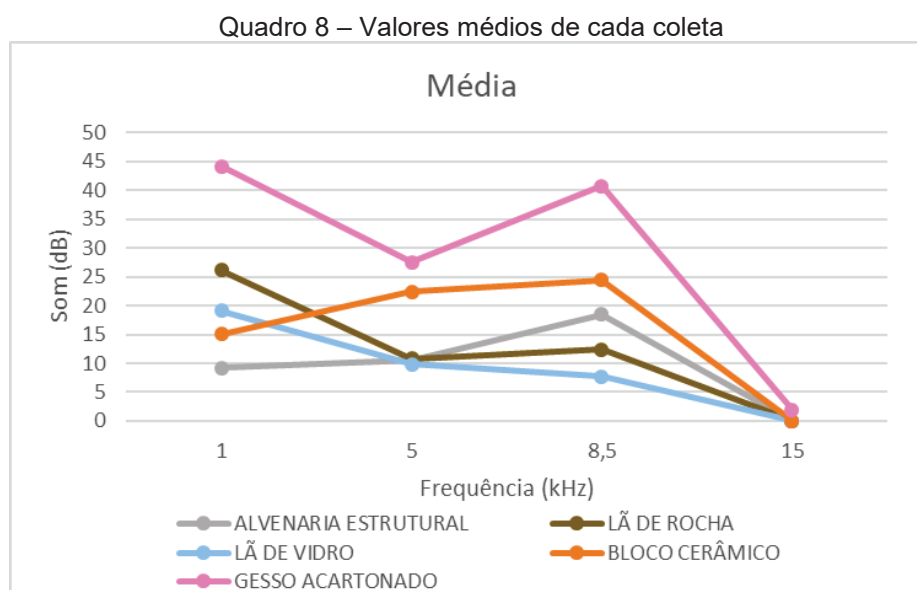
Fonte: Greven; Fagundes; Einsfeldt, 2006.

Portanto, verifica-se que os valores obtidos para cada um dos locais de estudo dessa pesquisa poderiam representar, respectivamente, nas seguintes categorias:

- Alvenaria estrutural – pressão sonora representativa de um local para fins de escritório, com música e ruídos comuns;
- Lã de rocha – pressão sonora representativa de um local com lojas, tráfego médio de veículos, com música e ruídos comuns;

- Lã de vidro – pressão sonora representativa de um local para escritório e lojas nas imediações, calmo e com pouco ruídos;
- Bloco cerâmico – pressão sonora representativa de um local com lojas, tráfego médio de veículos, com música e ruídos comuns;
- Gesso acartonado – pressão sonora representativa de um local com lojas e tráfego intenso, barulhento.

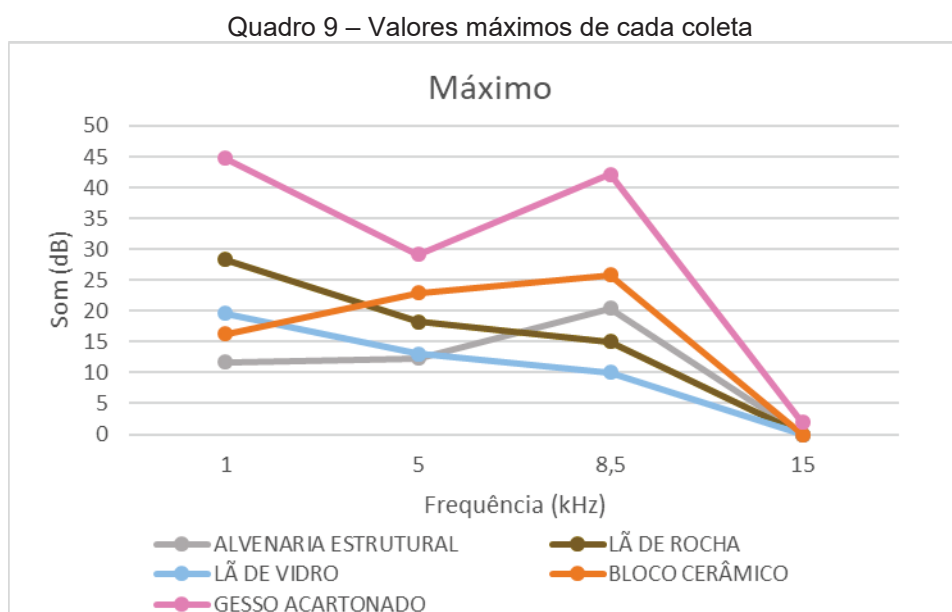
Como maneira de explicar de forma mais detalhada o trabalho desenvolvido, fora elaborado uma relação entre o valor emitido de pressão sonora em cada uma das quatro frequências utilizadas. O quadro 8 apresenta o valor residual médio em cada um dos testes, ou seja, a diferença entre o valor lido no receptor quando o emissor enviava o sinal nas frequências pré-estabelecidas e descontando-se o valor de pressão sonora natural do ambiente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Nota-se que em todas as frequências analisadas, o gesso acartonado sem tratamento acústico apresentou maiores valores de ruído recebido. Para a menor frequência de 1kHz o material que apresentou-se melhor como isolante foi a alvenaria estrutural seguida do bloco cerâmico, lã de vidro e lã de rocha. Já para as frequências de 5 e 8,5kHz a lã de vidro mostrou-se mais eficaz seguida pela lã de rocha, alvenaria estrutural e bloco cerâmico.

De forma a considerar possíveis alterações no padrão de leitura, elaborou-se um gráfico complementar (Quadro 9) com os valores máximos em cada uma das situações de leituras propostas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Diferentemente dos valores médios, nesta, a alvenaria estrutural mostrou-se a melhor opção até a frequência de 5kHz, os outros materiais apresentaram o mesmo comportamento.

Por fim, calculou-se a eficiência de absorção de ruído desses materiais através de uma taxa média em porcentagem (Tabela 6):

Tabela 6 – Taxas médias de absorção acústica em cada tipo de vedação vertical

Frequência (dB)	Taxas médias de absorção acústica (%)			
	1	5	8,5	15
Alvenaria estrutural	53,78	50,15	49,56	0,00
Gesso acartonado com lã de rocha	36,04	43,34	52,92	0,00
Gesso acartonado com lã de vidro	44,45	50,86	58,96	0,00
Bloco cerâmico	48,28	38,39	44,37	0,00
Gesso acartonado	20,81	33,29	30,18	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A vedação composta por alvenaria estrutural apresentou taxas médias de absorção inversamente proporcionais ao aumento da emissão de ruído. Entretanto, essa taxa de absorção possui valores bem próximos e pode-se dizer que fica em torno

dos 50%. Isso pode ser explicado pelo fato de que nessa situação as paredes são compostas por blocos de concreto, e a densidade deste é extremamente alta (de aproximadamente 2300Kg/m^3). Os resultados não são mais satisfatórios pois o controle tecnológico nesse método de construção é relativamente baixo.

Já o gesso acartonado com lã de rocha apresentou valores de taxas médias mais espaçados com absorção de 36% para emissão de 1kHz, 43% para 5kHz e quase 53% para 8,5kHz. Mostrou-se eficiente mesmo com uma espessura de vedação menor do que a alvenaria estrutural no qual as chapas de gesso acartonado possuem 9,5mm e o revestimento em lã de rocha com densidade nominal de 30kg/m^3 , e espessura de 50mm. Tais resultados mostraram-se um pouco inferiores aos estudos de Lima e Zenerato (2016) que encontraram uma taxa de absorção de 40,65% para 1kHz e 60,51% para 8kHz.

Para o gesso acartonado com isolamento em lã de vidro, apresentou a maior taxa média de absorção entre todos os materiais de vedação na frequência de 8,5kHz com praticamente 59% de absorção do ruído. Nesta vedação, as paredes eram compostas por chapas de gesso com espessuras de 12mm e o revestimento interno em lã de vidro com uma densidade nominal de 10kg/m^3 e espessura de 50mm. Comparando-se novamente com os estudos realizados por Lima e Zenerato (2016) os resultados apresentaram uma certa divergência onde a taxa média de absorção nesse estudo para a frequência foi de 44% e no delas foi de quase 38%, já nas frequências maiores apresentou maior proximidade, neste estudo para 8,5kHz a taxa média de absorção foi de 58,96% enquanto no delas, para 8,0kHz a absorção foi de 55,98%.

As paredes de alvenaria com bloco cerâmico não apresentaram ser muito eficientes em um panorama geral. Possivelmente esses valores se devem a baixa ao baixo emprego tecnológico associado na execução dos serviços.

O gesso acartonado sem tratamento mostra a importância de se utilizar materiais com propriedades isolantes, suas taxas médias de absorção foram as menores apresentadas com a absorção de até um terço do ruído emitido. Além disso, a composição das chapas faz com que apresente uma fina parede de vedação.

5 CONCLUSÃO

A avaliação da eficácia da técnica construtiva de vedação vertical de ambientes interiores através de chapas de gesso acartonado (com ou sem o uso de isolantes minerais) em relação ao sistema de alvenaria convencional em blocos cerâmicos e em blocos estruturais quanto ao conforto acústico justificou a importância do tratamento acústico em determinadas condições de uso, visto que os resultados apresentados expuseram significativa melhora nas condições de uso, no que diz respeito ao conforto acústico.

As vedações em gesso acartonado sem a presença de qualquer isolante apresentaram o menor desempenho de absorção de ruídos com uma taxa de 20,81% para 1kHz, 33,29% para 5kHz e 30,18% para 8,5kHz. Isso pode ser justificado pela característica de baixa densidade do material empregado (chapas de gesso), tal como pela espessura que as paredes no local de estudo apresentavam, visto que a transmissão de energia sonora tem direta relação com a quantidade de matéria em que o som precisa percorrer (atravessar).

Assim, nesta situação, as vibrações sonoras encontram caminho através da matéria homogênea das chapas (na face da parede), e através das pontes acústicas, formadas pelo vazio interno entre as chapas.

Quando se faz o uso da lã de vidro como isolante acústico, essas taxas aumentam significativamente em aproximadamente 30%, e, para a lã de rocha em até 23%. Isto pode ser explicado pelo fato do volume (antes vazio) agora se encontrar preenchido com um material poroso e com espessura maior que a chapa de gesso acartonado, fazendo com que haja significativa redução de energia vibratória absorvida pelo receptor. Acontece também devido ao material poroso (lã de vidro ou lã de rocha) conseguir absorver a energia recebida e dissipá-la em forma de calor, e, portanto, o som tende a se comportar de maneira similar a quando não encontra obstáculos, em que se dissipa através do ambiente, conforme explicado por Greven, Fagundes e Einsfeldt (2006).

Ainda sobre a lã de rocha ter obtido desempenho inferior à lã de vidro, justifica-se pelo fato de que as espessuras das chapas de gesso acartonado são maiores do que as de lã de vidro. Pode-se pressupor também que o material aplicado para o caso da lã de rocha tenha uma qualidade inferior ao comumente descrito nos catálogos e

literaturas do tema, ou de que a execução do serviço de instalação não fora realizada conforme pede o fabricante.

A alvenaria estrutural apresentou o melhor desempenho (53,78%) para a frequência de 1kHz mas é ultrapassada pela lã de vidro e lã de rocha em frequências maiores. Isto está relacionado ao fato de a parede em alvenaria estrutural possuir uma dimensão (espessura) muito superior as situações de análise com chapas de gesso acartonado. Além disso, após a realização das análises e dos resultados obtidos, doise informado que a parede divisória dos dois cômodos (um com o emissor e outro com o receptor) fora confeccionada com vários pontos de concreto, conhecidos como grautes (substitutos de pilares e vigas), e, portanto, interferindo no resultado da análise.

Já a alvenaria convencional apresentou um baixo desempenho geral, devido à densidade média de seus materiais de constituição, em que a onda emitida acaba criando uma ponte sonora (em meio aos vazios dos furos), e assim resultando em uma baixa absorção.

Ademais, as características físicas e mecânicas para cada um dos materiais estudados nos casos da alvenaria estrutural e da alvenaria com blocos cerâmicos apresentam grande taxa de variação em suas características reais (propriedades), ou seja, não seguem à risca os valores apresentados pela literatura bibliográfica, e assim, dificultam a análise profunda dos fatores que podem influenciar nos resultados.

Outro fator preponderante, é o de que o ruído gerado pelo emissor sofre constante variabilidade mesmo entre duas áreas extremamente similares. Isto explica-se através dos efeitos das ondas sonoras que são refletidas, e, portanto, qualquer obstáculo que não esteja presente em todas as situações transforma-se em uma interferência na análise (dados menos consistentes).

Fato ainda, é de que o ruído encontrado com maior facilidade no dia a dia abrange frequências entre 100hz e 8000Hz, e assim, a partir dos resultados encontrados facilita-se encontrar os efeitos de ressonância que ocorrem devido a espessura da parede.

Em um panorama geral, observa-se que o desempenho acústico aferido nesta pesquisa se mostrou relativamente divergente aos dados já consolidados no mercado e em outras pesquisas, como as de Lima e Zenerato (2016).

Isto evidencia que o método de execução para a fixação destes materiais acústicos juntamente com as placas de gesso acartonado ainda não segue os padrões necessários à garantia da funcionalidade acústica plena.

Mesmo assim, a técnica construtiva em gesso acartonado tem tido um desenvolvimento acentuado nas obras da região principalmente com relação a compartimentação interna das edificações, visto que é de fácil localização obras que utilizem tal método construtivo na região de Toledo. Nota-se ainda que pouquíssimas são as obras que executam essa técnica com os revestimentos com propriedades isolantes, tal como os abordados nesta pesquisa.

Portanto, o presente trabalho contribui para a difusão de conhecimentos e quantificação de valores de pressão sonora para materiais isolantes acústicos, demonstra que ainda há muito espaço para as empresas se aperfeiçoarem na técnica de instalação destes materiais, desenvolvimento e estudo de novos materiais, e ainda sugere novas e urgentes pesquisas, devido à grande gama de fatores influentes, possam ser promovidas na área, tais como:

- a) propor um modelo matemático que caracterize a redução acústica conforme a espessura dos materiais isolantes;
- b) investigar o desempenho acústico de outros materiais isolantes acústicos disponíveis no mercado, tal como a lã de pet;
- c) analisar o desempenho de materiais isolantes acústicos em frequências mais baixas (de 100hz a 1kHz);
- d) investigar a influência de materiais de revestimento que são acoplados junto a paredes que possuam algum tipo de tratamento acústico.

REFERÊNCIAS

ACCETTI, K. M. **Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria.** Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

AESIEAP. **Aislamiento a la carta determinar mejor solucion para aislar su ideas geniales.** *Material el frio wallpaper.* 2018. Disponível em: <<http://www.aesieap.org/material-para-aislar-el-frio/aislamiento-a-la-carta-determinar-mejor-soluci-n-para-aislar-su-ideas-geniales-material-el-frio/>>. Acesso em: 15 out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7171:** Bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151:** Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152:** Nível de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10837:** Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13530:** Revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1:** Componentes cerâmicos parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

B-MAX. **Medidor de som 30-130dB.** GM 1351. 2019. Disponível em: <<http://www.bmaxnovo.com.br/produto/medidor-de-som-30-130db-decibeis/>>. Acesso em: 4 fev. 2019.

BARBOSA, E. M. L. Análise comparativa entre alvenaria em bloco cerâmico de vedação e *drywall*. **Especialize On-line IPOG**, Goiânia, v. 01, n. 10, 2015.

BATISTA, N.; SLAMA, J. **Qualidade Acústica da Edificação.** I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, Petrópolis, 1996.

BELDERRAIN, M. **Desenvolvimento de parede dupla como divisória acústica.** In: I CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ACÚSTICA, I SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMALIZAÇÃO EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES DO MERCOSUL, Florianópolis, 1998.

BISTAFA, S. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído.** 2ª ed., Blucher, 384 p., 2011.

- BORGES, A. C.; MONTEFUSCO, E.; LEITE, J. L. **Prática das pequenas construções**. v. 01, 8ª ed., São Paulo, 1996.
- CAMILLO, M. G. D. **Análise da utilização de chapas e placas industrializadas nas vedações verticais internas em construções residenciais na região sul do Brasil**. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- CEOTTO, L. H.; BANDUK, R. C.; NAKAKURA, E. H. **Revestimentos de argamassa**: Boas práticas em projeto, execução e avaliação. Programa de tecnologia e habitação – Habitare, ANTAC, v. 01, Porto Alegre, 2005.
- CORBIOLLI, N. **Mercado futuro**: fundação da placa coloca o grupo inglês BPB no Brasil. *Construção*, n.2498, p.10, dez/1995.
- EGAN, M. **Architectural Acoustics**. McGraw-Hill Inc. 1988.
- FIORITO, A. J. S. L. **Manual de argamassas e revestimentos**: estudos e procedimentos de execução. São Paulo: Pini, 1994.
- FERREIRA, A. S. **Estudo comparativo de sistemas construtivos industrializados**: paredes de concreto, *steel frame* e *wood frame*. Monografia (Bacharelado em Engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- FRANCO, L. S. **O desempenho estrutural e a deformabilidade das vedações verticais**. São Paulo, 1998.
- FREITAS, A. H. C.; SANTOS, D. M.; MORAES, G. H. S.; CURY, I. S. **Cálculos estruturais em concreto armado**: Comparativo entre cálculo manual e com auxílio de software. *Revista Pensar Engenharia*, v.2, n.2, p.1-19, julho, 2014.
- GERALDO, R. H.; PINHEIRO, S. M. M.; SILVA, J. S.; ANDRADE, H. M. C.; DWECK, J.; GONÇALVES, J. P.; CAMARINI, G. *Gypsum plaster waste recycling: A potential enviromental and industrial solution*. **Journal of cleaner production**, v. 164, p. 288-300, 2017.
- GEROLLA, G. **Notícia**: Processo de produção de blocos cerâmicos é totalmente informatizado e automatizado. *Revista Equipe de obra*. Editora Pini. 2012.
- GREGÓRIO, M. H. R. **Edificações em Alvenaria Estrutural**: Uso e desenvolvimento do sistema construtivo e contribuições ao projeto arquitetônico. Dissertação (Mestre em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.
- GREVEN, H. A.; FAGUNDES, H. A. V.; EINSFELDT, A. A. **ABC do conforto acústico**. 2. ed. Knauf do Brasil. [s.l.]. 2006.
- GUEIROS, T; PINGUINELLI ROSA, L. **Urban Noise: Sick Streets – Sick Buildings**. In: PROC OF 17th INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, Roma, 2001.

JBL. **JBL Charge 3**. 2019. Disponível em: <<https://www.jbl.com/bluetooth-speakers/JBL+CHARGE+III.html>> . Acesso em: 4 fev. 2019.

KAZMIERCZAK, C. S. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2ª ed., IBRACON, v.02, p. 565-588, 2010.

LABUTO, L. V. **Parede seca: sistema construtivo de fechamento em estrutura de drywall**. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

LAI, L. **Verificação do custo-benefício do sistema drywall segundo a ABNT NBR 15575:2013**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed., Eletrobras/Procel, Rio de Janeiro, 2014.

LIMA, K. E. J. B.; ZENERATO, T. S. **Comparativo de desempenho acústico de MDF e drywall e suas composições com lã de vidro e lã de rocha**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

LIMA, V. C. **Análise Comparativa entre alvenaria em bloco cerâmico e painéis em gesso acartonado para o uso como vedação em edifícios: Estudo de caso em edifício de multipavimentos na cidade de Feira de Santana**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.

LOSSO, M.; VIVEIROS, E. **Gesso acartonado e isolamento acústico: Teoria versus prática no Brasil**. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 2004.

LUCA, C. R. **Desempenho acústico em sistemas de Drywall**. Associação Brasileira do Drywall. 2ª ed., São Paulo, 2015.

LUCINI, H. C. **Manual técnico de Modulação de vãos de esquadrias**. São Paulo, Pini. 2001.

LUSHNIKOVA, N.; DVORKIN, L. *Sustainability of gypsum products as a construction material*. **Woodhead publishing series in Civil and Structural Engineering**, p. 643-681, 2016.

MÉNDEZ, A. M. **Acústica Arquitectónica**. 1ª ed., 238 p., Buenos Aires (UMSA), 1994.

MIRANDA, D.; ZAMBONI, L. R. **Estudo comparativo entre o sistema construtivo light steel frame e o sistema de alvenaria convencional em casas populares**. Monografia (Bacharelado em Engenharia civil) – Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2016.

MOSCATI, S. R. **Desempenho acústico de templos e igrejas:** subsídios à normalização. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

OCHOA, J. H.; ARAÚJO, D. L.; SATTLER, M. A. **Análise do conforto ambiental em salas de aula:** comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. Ambiente construído, Porto Alegre, v. 12, n.1, p. 91-114, jan. /mar., 2012.

PASTRO, R. Z. **Alvenaria Estrutural:** Sistema construtivo. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade São Francisco, Itatiba, 2007.

PAZOS, D. F. P. **Caracterização da reflexão sonora de barreiras acústicas com superfície corrugadas.** Monografia (Especialização em Engenharia mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PESSANHA, C. A.; CINTRA, M. A. H.; AMORIM, S. R. L. **Inovações e o desenvolvimento tecnológico:** Um estudo em pequenas e médias empresas construtoras de edificações. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Foz do Iguaçu, 2002.

PLACO DO BRASIL. **Manual sistema placostil.** São Paulo, 2009.

QUANTO CUSTA. **Lã de rocha preço.** 2018. Disponível em: <<https://www.quantocusta.org/la-de-rocha-preco/>>. Acesso em: 15 out. 2018.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural.** São Paulo, Pini. 2003.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda:** uma análise da confiabilidade e da conformidade. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SABBATINI, F. H. **Alvenaria Estrutural - Materiais, execução da estrutura e controle tecnológico:** Requisitos e critérios mínimos a serem atendidos para a solicitação de financiamento de edifícios em alvenaria estrutural junto à Caixa Econômica Federal. Diretoria de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano. 2003.

SALGADO, J. **Técnicas e práticas construtivas para edificações.** 1ª ed., São Paulo: Érica, 2009.

SILVA, E. D. **Comparativo de custo e desempenho entre o sistema de vedação convencional e o fechamento em *drywall*.** Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica.** 4ª ed., EdUFSCar, São Carlos, 2012.

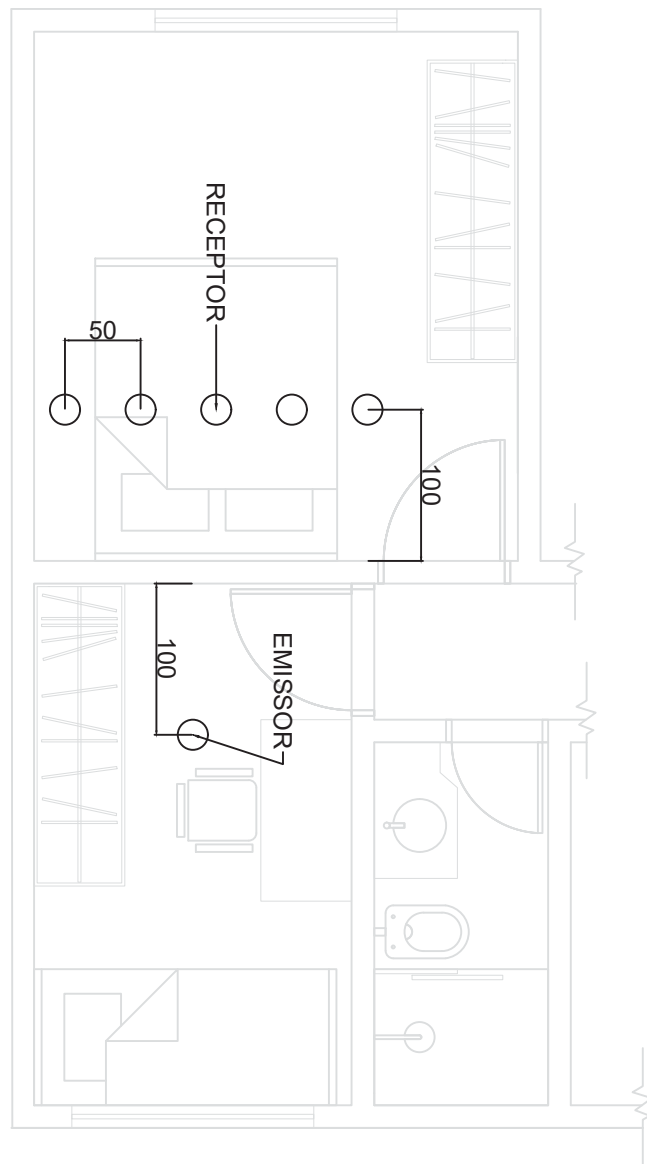
SUSSEKIND, J. C. **Curso de análise estrutural**. 6ª ed., Porto Alegre – Rio de Janeiro: Globo, 1981.

TANIGUTI, E. K. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado**. Tese (Mestrado Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

TAPPARO, T.; BRUM, E. M.; MACULAN, L. S.; BARBACOV, N.; GOMES, A. P. **Análise comparativa de custo de produção entre o sistema construtivo com divisórias internas em gesso acartonado e em alvenaria convencional**. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 2016.

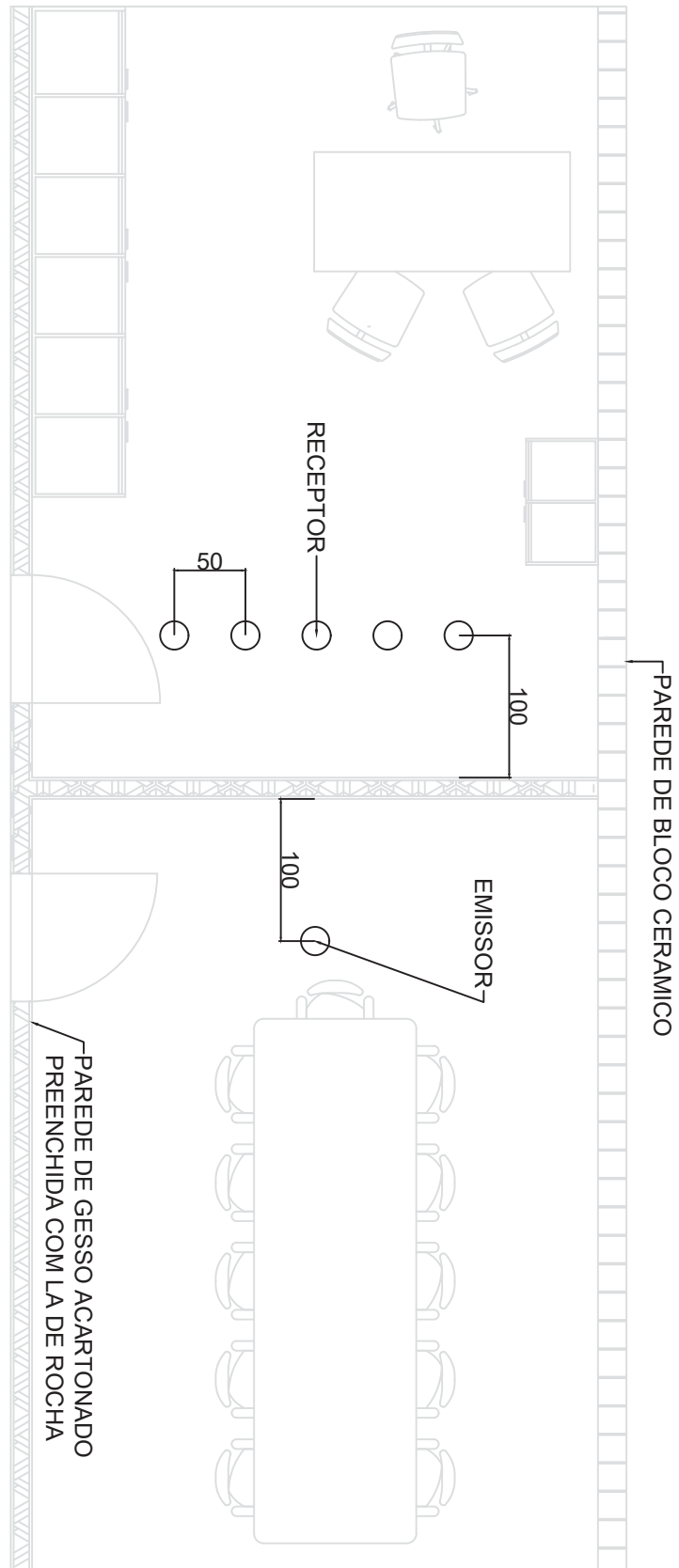
YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 4ª ed. Editora Pini. São Paulo. 2002.

APÊNDICE 1



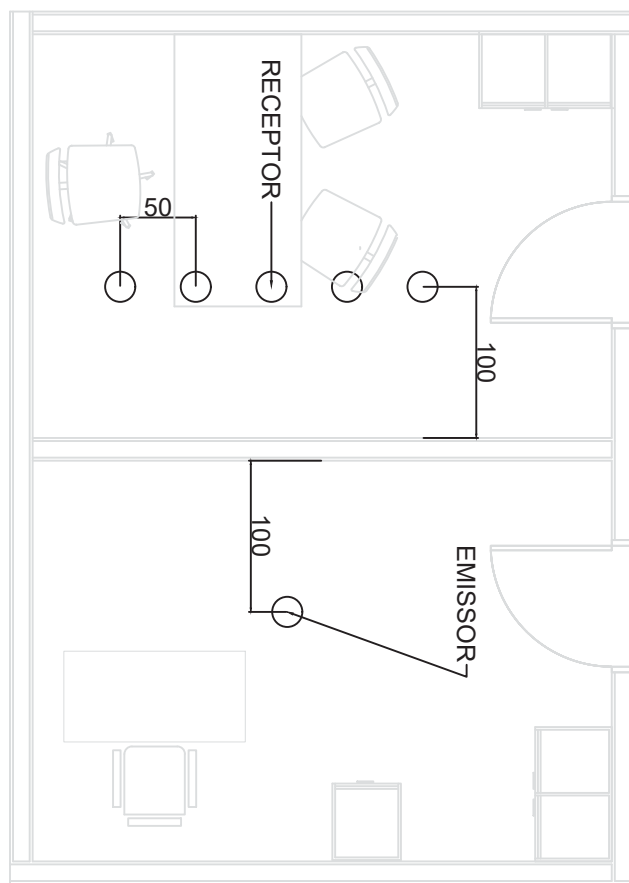
FECHAMENTO EM ALVENARIA ESTRUTURAL
ESCALA - 1:50

APÊNDICE 2



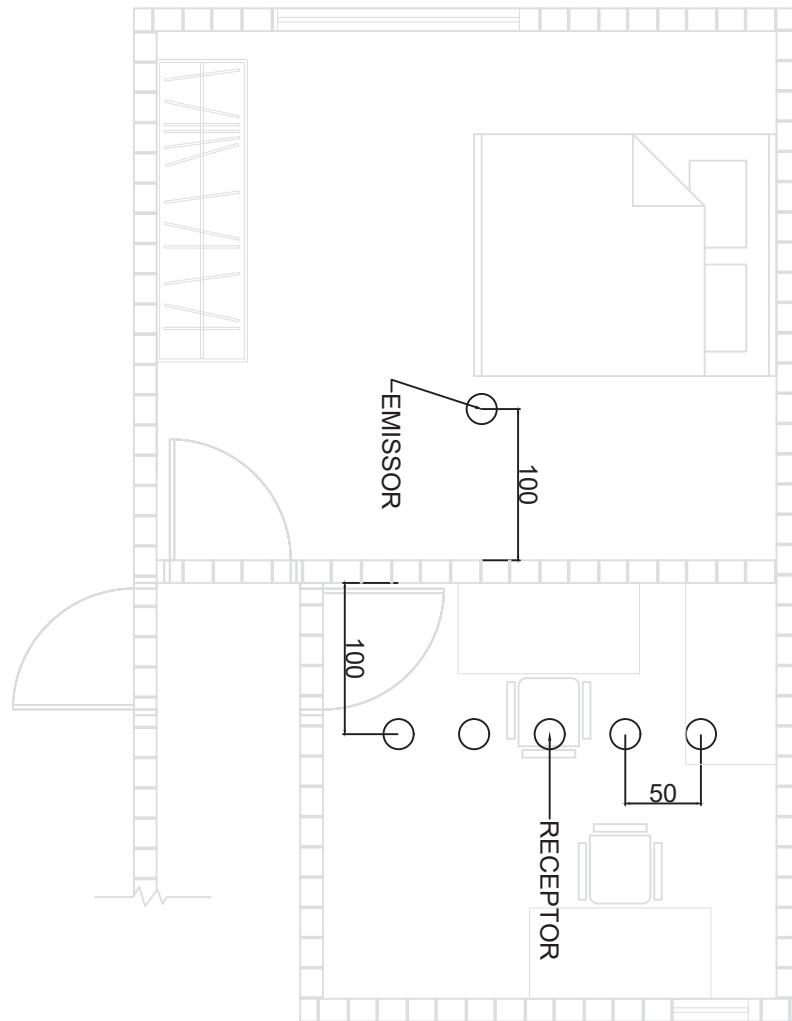
FECHAMENTO EM GESSO COM LÃ DE ROCHA
ESCALA - 1:50

APÊNDICE 3



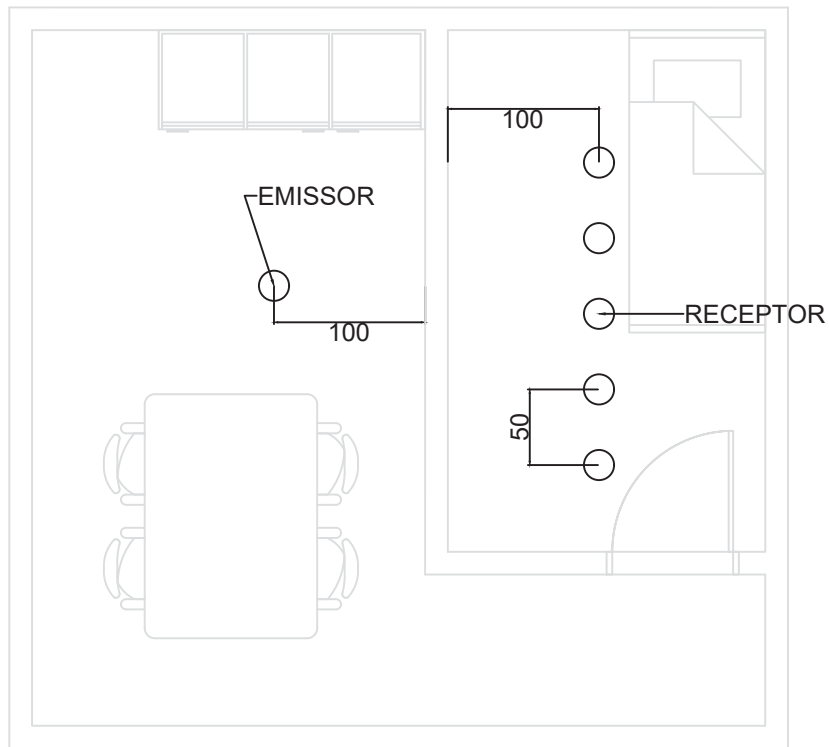
FECHAMENTO EM GESSO COM LÃ DE VIDRO
ESCALA - 1:50

APÊNDICE 4



FECHAMENTO EM ALVENARIA DE BLOCO CERÂMICO
ESCALA - 1:50

APÊNDICE 5



FECHAMENTO EM GESSO SEM ISOLANTE
ESCALA - 1:50

ANEXO 1

Dimensões de blocos cerâmicos:

Dimensões LxHxC Módulo Dimensional M=10cm	Dimensões de fabricação (cm)				
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento(C)		
			Bloco Principal	1/2 Bloco	
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9	
(1) M x (1) M x (5/2) M			24	11,5	
(1) M x (3/2) M x (2) M		14	19	9	
(1) M x (3/2) M x (5/2) M			24	11,5	
(1) M x (3/2) M x (3) M			29	14	
(1) M x (2) M x (2) M		19	19	19	9
(1) M x (1) M x (5/2) M				24	11,5
(1) M x (1) M x (3) M				29	14
(1) M x (1) M x (4) M				39	19
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M	11,5	11,5	24	11,5	
(5/4) M x (3/2) M x (5/2) M		14	24	11,5	
(5/4) M x (2) M x (2) M		19	19	9	
(5/4) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5	
(5/4) M x (2) M x (3) M			29	14	
(5/4) M x (2) M x (4) M	14	19	39	19	
(3/2) M x (2) M x (2) M			19	9	
(3/2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5	
(3/2) M x (2) M x (3) M			29	14	
(3/2) M x (2) M x (4) M			39	19	
(2) M x (2) M x (2) M	19	19	19	9	
(2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5	
(2) M x (2) M x (3) M			29	14	
(2) M x (2) M x (4) M			39	19	
(5/2) M x (5/2) M x (5/2) M	24	24	24	11,5	
(5/2) M x (5/2) M x (3) M			29	14	
(5/2) M x (5/2) M x (4) M			39	19	

Fonte: ABNT NBR 15270-1, 2005