

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UMA PORTA E MELHORIAS PARA AUMENTAR A PERDA DA TRANSMISSÃO SONORA

**Marcos Lima Rovaris ¹
Elvys Isaías Mercado Curi ²**

Resumo: Em um ambiente fechado, as portas são os elementos mais vulneráveis do isolamento acústico, afetando a eficiência de todo o sistema. A vedação acústica da porta, deve complementar às partes fixas e móvel do ambiente, apontando a ter um baixo nível de transmissibilidade sonora. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de isolamento acústico de uma porta comum e uma porta dupla, por meio da determinação de seu índice de redução sonora. Para isso foi fabricada uma bancada de ensaio que simula um quarto em escala, com paredes isoladas acusticamente, tendo como único acesso a porta semioca, complementa-se sua vedação outra porta semelhante. Nos ensaios se avalia o nível de transmissibilidade por meio da norma de edificações ABNT NBR 15575 – 4 (2013). As atividades de medições se realizam aplicando a norma ISO 717-1-4 (2013) a qual é recomendada para avaliar o desempenho acústico de elementos de edifícios, complementando-se com a norma ISO 10140-2-2010, para o cálculo do índice de redução e a Diferença padronizada de Nível Ponderada. Os ensaios se realizam usando um autofalante, fonte de radiação de som emitindo-se pressão sonora constante e dois sonômetros calibrados. Foram realizadas as medições em um ponto exterior do ambiente e outro no interior. Após de realizar os ensaios se determinou os níveis de redução sonora ponderada de 21,66 dB para uma porta e de 28,32 dB para duas portas.

Palavra-Chave: Porta, Isolamento acústico, vedação, ISO.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbanístico tem elevado o nível de ruído nas cidades urbanas (J. L. Bento Coelho, 2004), em alguns casos atinge níveis excessivos, atentando assim contra a saúde e conforto da população. Quando uma pessoa é submetida ao ruído inicialmente é afetada apenas com um desconforto, mas em longos períodos de exposições, pode acarretar problemas graves como a perda parcial ou total da audição, problemas cardiovasculares, hormonais, ansiedade e estresse. (Maciel, 2009).

¹ Graduando em engenharia Mecânica. E-mail: marcosl.rovaris@gmail.com

² Prof Elvys Isaías Mercado Curi. E-mail: elvys.curi@satc.edu.br

Outros fatores a serem considerados, são os efeitos instantâneos ou de curto prazo que são a perda de concentração, dificuldade na comunicação e insônia.

No ambiente industrial o problema é ainda maior, embora que se tenta amenizar com EPI's, porém o próprio EPI causa desconforto, afetando a concentração e a produtividade.

Segundo a norma NBR 15.575-4:2013 (ABNT, 2013), uma fachada cega ou sem aberturas, em um sistema convencional de alvenaria, poderia apresentar níveis compatíveis ou superior as exigências de transmissibilidade desde o exterior ao interior de um ambiente, mas isto não garante estar dentro dos limites recomendais no interior. Porém os parâmetros da NBR 10.152:2019 (ABNT, 2019), nem sempre é possível chegar a tais níveis aceitáveis recomendados para o conforto acústico, com as aberturas convencionais, tendo a necessidade de um estudo de caso sobre as aberturas ou elementos moveis de um ambiente fechado.

Muitos motivos tornam a porta como um meio vulnerável acusticamente, tais como a presença de frestas onde possibilitam a passagem de ar que é o principal meio de transmissão da energia sonora, a fechadura como único ponto de pressão, baixa espessura ou densidade (agravadas se forem semiocas) e muitas vezes não ter um contato uniforme entre porta e marco.

Em apartamentos e hotéis a distância entre residências são menores, podendo assim ter sua privacidade comprometida pela porta, pois em muitos casos elas ficam frente a frente.

Melhorias do desempenho acústico em ambientes habitacionais como os prédios permitiriam ter maior conforto, menor poluição sonora, maior privacidade e até melhor qualidade de vida.

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho acústico de uma porta semioca, e aplicar melhorias por meio de uma porta dupla. Para fins didáticos e com intuito de realizar testes práticos dentro de um laboratório, foi fabricado uma minicâmara acústica e um modelo de porta equivalente a um terço de uma porta semioca padrão de dimensões 800x2100 mm. A fonte sonora irradia som na mesma frequência e amplitude desde a parte exterior, medindo-se no exterior e no interior seu nível de pressão sonora. Após de processar os sinais coletados analogicamente se avalia o índice de redução sonora aparente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Recomendações de conforto acústico são incorporados em algumas normas brasileiras, acrescentando-se algumas exigências de desempenho acústicos nas edificações. Com isto, a demanda por medições acústicas em edificações está aumentando, a partir do momento em que as normas entrarem em vigor, a demanda de elementos como portas e janelas com menor transmissibilidade de som tende a aumentar cada vez mais.

2.1 NORMAS DE CONFORTO ACÚSTICO

No Brasil, as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) abordam o tema “ruído” visando ao conforto acústico da população entre elas está: a NBR 10151:2019, nesta se estabelece algumas recomendações para o procedimento de medição, assim como a avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes externos às edificações, em áreas destinadas à ocupação humana, em função da finalidade de uso e ocupação do solo.

A norma NBR 10152:2017, procedimento para execução de medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações; procedimento para determinação do nível de pressão sonora representativo de um ambiente interno a uma edificação.

A norma NBR 15575-4:2013 estabelece os requisitos, os critérios e os métodos para a avaliação do desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas de edificações habitacionais ou de seus elementos.

A respeito destas normas Marcela (2014) observava que apesar de não inviabilizar, há critérios que dificultam a caracterização dos problemas acústicos em edificações como defeitos de construção, tais como a falta de privacidade acústica entre unidades ou em relação ao ambiente urbano. Somente com a norma NBR 15.575-4:2013, se definiram os critérios em que as edificações devem cumprir, como desempenho estrutural, térmico, lumínico e o desempenho acústico.

As recomendações do nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos desta norma se resumem na Tab. 1, diferenciando os valores de diurno, que abrange das 7 às 22 h, do noturno. A norma NBR 10151:2003 de 4 páginas é diferente

à NBR 10151:2019 de 24 páginas, mas estas têm os mesmos níveis de permissibilidade de som.

Tabela 01 - Nível de Critério de Avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno (7h às 22h) Noturno	
	Áreas de sítios e fazendas	40 dB(A)
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50 dB(A)	45 dB(A)
Área mista, predominantemente residencial	55 dB(A)	50 dB(A)
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60 dB(A)	55 dB(A)
Área mista, com vocação recreacional	65 dB(A)	55 dB(A)
Área predominantemente industrial	70 dB(A)	60 dB(A)

Fonte: ABNT NBR 10151:2003.

A norma NBR 10152:2017, Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações, nesta se define os valores de referência de níveis de pressão sonora, visando a preservação da saúde e do bem-estar humano. A norma também estabelece procedimentos para medições dos níveis de pressão sonora, determinação do nível sonoro representativo, e a avaliação sonora dos ambientes internos para compará-lo com os valores de referência indicados pela norma. Os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes residenciais nos dormitórios são entre 35 a 45 dbA e na sala de estar entre 40 a 50 dBA.

Os valores dB(A) mostram o nível de pressão sonora ponderado em decibéis recomendável para cada ambiente interno e o nível de critério (NC) é um método de avaliação de um ruído num ambiente determinado e se refere à curva de avaliação de ruído (NC).

A norma ABNT NBR 10152:2017 utiliza os parâmetros da ISO para critérios de avaliação do desempenho acústico mostrados na Tab. 02.

Tabela 02 - Parâmetros acústicos de verificação

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

Fonte: ABNT NBR 10152:2017

A norma ABNT NBR 15575-4:2013 de edificações, trata do desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas. Na parte dos requisitos, estabelece os níveis de ruído admitidos na habitação, assim como os critérios de avaliação acústica usando o método de Diferença Padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação externa (fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada, nos edifícios multipiso), verificada em ensaio de campo.

2.2 ISOLAMENTO ACÚSTICO

Consiste o isolamento em impedir ou atenuar a transmissão sonora de um ambiente para outro que ao encontrar uma superfície, a onda sonora sofre alterações, que estão relacionadas ao tipo de material constituinte dessa superfície. Essas alterações são definidas como absorção (BISTAFA, 2006).

Para avaliar o desempenho acústico de uma porta instalada em um ambiente é necessário analisar o ambiente como todo, pois qualquer passagem de ar é suscetível a transmissão sonora, podendo trazer interferência nas medições.

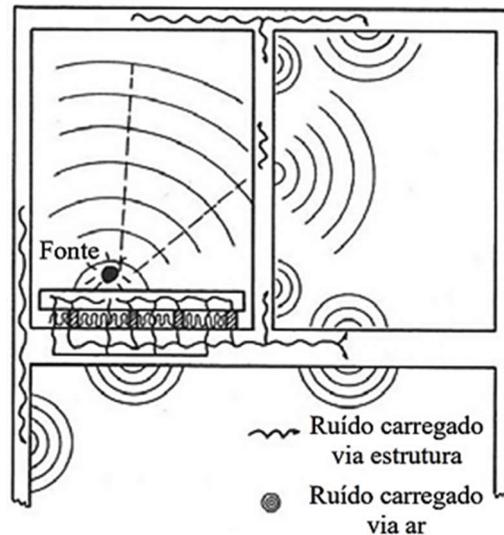
Segundo Reynolds (1981), o uso de uma barreira sólida é o método mais comum de controlar a transmissão sonora de uma área para outra, apesar de o som nunca ser bloqueado completamente, é possível atingir valores significativos.

Um ambiente fechado possui um outro agravante, a reverberação, pois ao contrário do que ocorre ao ar livre, as ondas sonoras sofrem interferência das ondas refletidas pelas superfícies que demarcam o recinto (BISTAFA, 2006), comumente chamada de eco.

Tendo em vista que para abafar o ruído é necessário um tratamento acústico em ambientes fechados para diminuir a reverberação sonora, em uma sala comum é difícil observar tal efeito, pois quadros e móveis conseguem ter um efeito significativo no tratamento acústico.

A transmissão do som é feita por ondas sonoras, por meio das vias aéreas usando o ar para o deslocamento da energia sonora, ou via sólida sendo transmitida pela estrutura. Quando o som é transmitido pelo ar é composto apenas por ondas longitudinais, já nos sólidos podem ser transmitidas por vários tipos de ondas como onda de flexão, cisalhamento e torcional (GERGES, 2000). A Fig. 1 mostra a transmissão sonora desde uma fonte a outro ambiente vizinho.

Figura 01 - Transmissão do ruído de uma fonte pela via aérea e por corpos sólidos



Fonte: Gerges (2000).

2.2.1 Problemas nas Aberturas

Segundo Gerges (2000), o cálculo da Perda de Transmissibilidade sonora (PT), se realiza aplicando uma fórmula a que fornece apenas valores aproximados, pois não são levados em consideração a ressonância no mesmo, que pode inclusive aumentar o efeito sonoro dentro do ambiente.

O modelo matemático que calcula a Perda de Transmissibilidade está representado pela Eq. 1:

$$PT = 10 \log \frac{S_1 + S_2}{(a_1 \cdot S_1) + (a_2 \cdot S_2)} \quad (1)$$

Onde:

s_1 = área da porta sólida [m^2];

s_2 [m^2] é a área da abertura da porta;

a_1 [-] é o fator de transmissibilidade da parte sólida da porta;

a_2 [-] é o fator de transmissibilidade da abertura da porta;

Levando em consideração uma parede com um nível de pressão sonora de $L_p = 30dB$; com uma área $s_1 = 1 m^2$; tendo uma abertura de $s_2 = 0,01 m^2$ e com os coeficiente de transmissibilidade $a_1 = 1 \times 10^{-3}$ e $a_2 = 1$, ao aplicar a eq.2 de perda de transmissão se tem:

$$PT = 10 \log \frac{1+0,001}{(1*0,01)+(1*0,001)} \quad (2)$$

Ou seja, PT a abertura com uma área total de 1 % da área da parede reduziu de 30 dB para 19,5 dB o isolamento acústico do ambiente (GERGES, 2000).

2.2.2 Lei da Massa

Para quantificar um isolamento utiliza-se a lei da massa. Segundo Gerges (2000), a lei da massa é aplicada em sua forma mais prática, a de 3 meios (ar, parede, ar) é dada pela Eq. 3:

$$TL = 20 \log_{10}(M \cdot f) - 45,4 \text{ dB} \quad (3)$$

Onde:

$TL[\text{dB}]$ = a perda de transmissão (dB);

M = Densidade superficial de massa do sistema construtivo (Kg/m^2);

f = frequência avaliada (Hz);

$-45,4 \text{ dB}$ = uma constante baseada no meio I e III que são ambos ar.

Segundo a lei da inércia da massa, quanto maior a massa superficial de uma parede, ou no caso seu peso, melhor será o desempenho acústico da mesma.

A Frequência (f) é a grandeza física do estudo da ondulatória que indica o número de ciclos (oscilações completas) durante um período de tempo, a mesma é expressa em hertz (Hz) pela Eq.4 e é derivada do tempo (HERTZ, 1888).

$$f = \frac{1}{t} \quad (4)$$

Para cada frequência temos um comprimento de onda (λ) representado pela Eq.5, que seria a representação física de um ciclo ao longo de uma distância

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (5)$$

O comprimento de onda depende da velocidade de propagação desta onda no meio (c) sendo esse meio o ar o "c" é constante.

2.2.3 Sistema Massa Mola

A lei da massa tem um grande problema se aplicada em projetos arquitetônicos, como ela visa duplicar a massa da parede para ter um isolamento acústico desejado, muitas vezes o tamanho do projeto necessário não suportaria o peso total, por isso o sistema massa mola se torna mais atraente.

O sistema massa mola é conhecido como parede dupla, geralmente é construída por uma camada rígida de massa, sendo ela de alvenaria, vidro, gesso acartonado, metal, podendo usar material rígido, uma camada de ar ou algum material isolante desejado e mais uma camada rígida de massa (GERGES, 2000).

2.2.4 Medição do Isolamento Sonoro

Para Gerges (2000), o nível de pressão sonora é uma medida para determinar o grau de potência da onda sonora. O cálculo da pressão média numa sala $L_{médio}(f)$ em dB é o nível correspondente à média espacial e temporal do valor médio quadrático da pressão sonora na sala, na banda considerada, expresso pela Eq.6.

$$L_{médio}(f) = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum \frac{L_j}{10} \right] \quad (6)$$

Onde:

L_j = nível de pressão sonora médio na sala medido em um intervalo de tempo (dB)

n = número de posições diferentes de coleta.

A medição do isolamento sonoro é feita entre duas salas, onde uma é a emissora de onde o som é transmitido e a outra é a receptora onde é captado o som.

Para realizar a medição gera-se a um sinal de excitação na sala emissora, o som é captado em ambas as salas e compara-se a diferença do nível de pressão sonora em diferentes bandas de frequência, em dB calculada pela Eq.7.

$$D(f) = L_E(f) - L_R(f) \quad (7)$$

Onde:

$L_E(f)$ = nível de pressão sonora na sala emissora (dB);

$L_R(f)$ = nível de pressão sonora na sala receptora (dB).

Os parâmetros de isolamento sonoro aéreo são obtidos a partir da diferença de nível D entre as salas e de alguns parâmetros acústicos da sala receptora, definidos a seguir, todos dependentes da frequência.

2.2.4.1 Tempo de Reverberação t

O tempo de reverberação de uma sala é o parâmetro básico que caracteriza o campo reverberante na sala. É o tempo necessário para o nível de pressão sonora cair 60 dB, ou seja, o tempo para a energia sonora cair a um milionésimo do seu valor inicial. (MICHALSKI, 2011).

2.1.4.2 Diferença Normalizada de Nível D_n

A diferença normalizada em dB é a diferença de nível correspondente a uma área de absorção de referência na sala receptora, é uma medida da redução dos níveis sonoros entre as salas, tendo uma relação a uma sala de referência de 10m² com a sala receptora (MICHALSKI, 2011).

2.1.4.3 Diferença Padronizada de Nível D_{nt}

A diferença padronizada de nível é a diferença de nível correspondente a um valor de tempo de reverberação na sala receptora. É uma medida da redução nos níveis sonoros entre uma sala e outra, envolvendo a relação entre o tempo de reverberação médio na sala receptora, esse tempo de acordo com a ISO 140 é um tempo de aproximadamente 0,5 s que é o tempo de reverberação em salas comuns de residências com mobílias. (MICHALSKI, 2011).

2.1.4.4 Índice de Redução Sonora Aparente R'

O índice de redução sonora entre duas salas corresponde à diferença entre o nível da potência sonora incidente no elemento de separação e o nível da potência sonora transmitida para a sala receptora.

Para medições em laboratório utiliza-se a Eq. 8, considera-se que a potência sonora R transmitida para a sala receptora é igual à potência sonora transmitida através do elemento de separação W_2 , não sendo considerado as transmissões laterais.

$$R = 10 \log \left(\frac{W_1}{W_2} \right) \quad (8)$$

Nesse caso W_1 é a potencia sonora incidente no elemento de transmissão.

Para medições em campo, a potência sonora transmitida através de elementos de transmissão lateral ou por outros componentes W_3 pode ser significativa, nesse caso o índice de redução sonora R passa a ser aparente R' calculador pela Eq.9.

$$R' = 10 \log \left(\frac{W_1}{W_2 + W_3} \right) \quad (9)$$

O índice de redução sonora aparente R' é menos rigoroso que D_n ou D_nT e não depende da direção de transmissão sonora entre as salas durante a medição. O índice de redução sonora aparente R' pode ser expresso pela Eq.10.

$$R' = D + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (10)$$

Onde:

D = diferença de nível entre as duas salas (dB),

S = área do elemento de separação m^2 ;

A = área de absorção sonora equivalente da sala receptora (m^2);

Os parâmetros da ISO 10140-4, propõe que para comparações das medições de campo com o laboratorial devem ser feitas quando o elemento de separação S é de aproximadamente $10m^2$ (MICHALSKI, 2011).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento basicamente consistiu em 3 partes: a primeira foi projetar e construir um quarto de pequeno porte, com duas portas semiocultas como único meio de acesso. A segunda parte consistiu em realizar as medidas usando as normas ABNT NBR 15575-4 (2013), ISO 717-1-4 (2013) e ISO 10140-2 (2010). A última parte consistiu no processamento de dados e o cálculo do Índice de Redução Sonora Ponderado assim como da Diferença Padronizada de Nível Ponderado, mostrando-se os valores em gráficos e tabelas.

3.1 FABRICAÇÃO DA CÂMARA ACÚSTICA

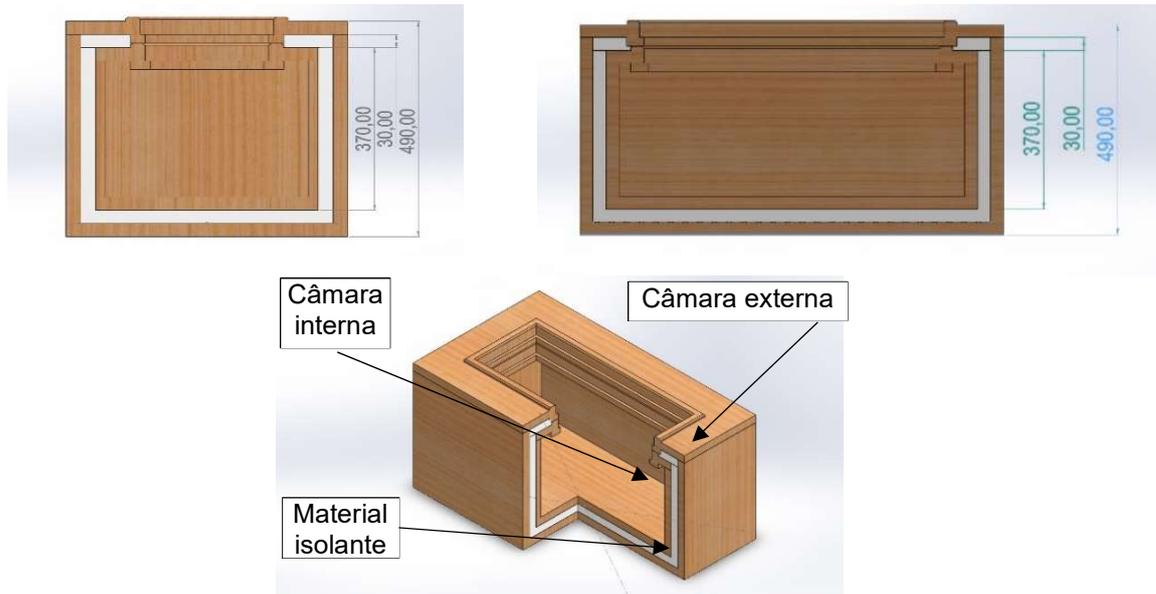
Quando as duas paredes são afastadas e isolada uma da outra temos uma perda de transmissão igual à soma aritmética das duas paredes, sendo mais exato a cada espaçamento de ar de 15 a 200 mm temos uma perda de transmissão de 6 dB acima da soma aritmética das duas paredes. Porém como essa camada de ar pode entrar facilmente em ressonância perdendo sua capacidade de isolamento e até mesmo aumentar a transmissão, é melhor colocar algum material isolante nesse espaço, como lã de vidro ou lã de rocha (GERGES, 2000).

Por tanto, quanto maior é a massa menor a incidência de vibração, diminuindo-se a chance de transmitir a energia sonora para o recinto. Tendo em vista que a velocidade de transmissão sonora na parede seja maior que no ar, essa lei indica que a cada vez que a massa ou a frequência do som é dobrada obteremos uma perda sonora de 6 dB. Analisando a lei da massa nota-se uma dificuldade maior em isolar baixas frequências. (GERGES, 2000).

Por isso foi aplicado a lei da massa-mola na construção da câmara acústica, a ideia foi criar uma câmara dentro da outra, com todas as faces afastadas em 30 mm, este vão entre as câmaras foi revestido com lã de vidro. Se for colocado 2 paredes de mesma espessura e coloca-las juntas sem a camada de ar, teremos a aplicação da lei de massa com uma redução de 6 Db (Gerges, 2000).

A câmara maior ficou com as dimensões de 980x570x490 mm, a câmara menor ficou com as dimensões 860x450x370 mm, detalhes melhores da montagem estão demonstrados na Fig. 02.

Figura 02 – Bancada de ensaio, desenho em corte.



Fonte: Do autor(2020)

Para manter o afastamento de 30mm foram necessários alguns suportes de borracha, em formato quadrado de 30x30x30 mm.

Com o pouco espaço interno na câmara foi necessário fazer as duas portas abrirem para fora, então a porta interna ficou um pouco menor.

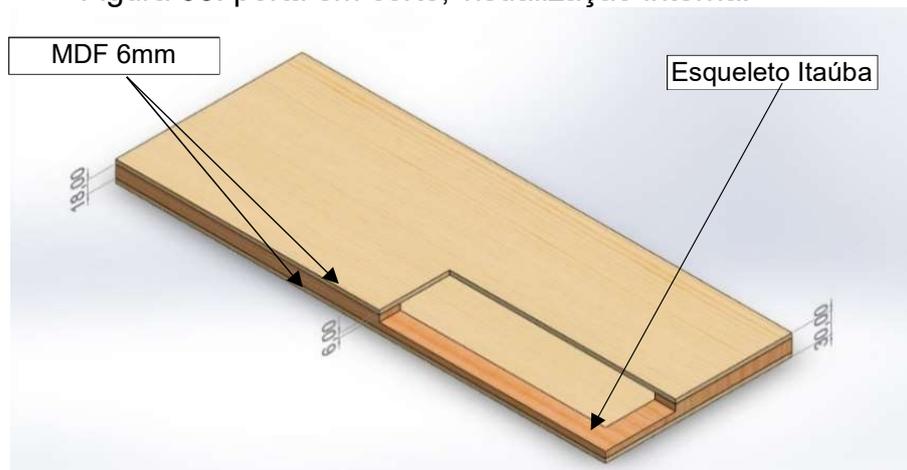
Para garantir um isolamento adequado em ambas as câmaras foram aplicadas uma camada de massa de poliacetato de vinila (PVA) e pintada, e todos os contatos tiveram uma fina camada de Ethylene Vinyl Acetate (EVA). Isso para evitar quaisquer problemas com deito proveniente da madeira ou corte.

Um problema observado na vedação acústica das portas são as frestas e o contato entre porta e marco que nem sempre são uniformes pois normalmente possuem apenas uma fechadura como fonte de pressão.

3.1.1 Fabricação da Porta

Utilizando a mesma ideia da câmara a porta terá a lei da massa-mola como principal meio de isolamento. A porta foi montada com duas placas de MDF (*Medium Density Fiberboard*) de 6mm cada, em um esqueleto de itaúba de 18 mm de espessura, a Fig. 03 mostrara em corte os detalhes da montagem da porta. Este vão entre as duas placas de MDF será preenchido com ar, lã de vidro e lã de rocha para avaliar qual material terá o maior desempenho no isolamento acústico.

Figura 03: porta em corte, visualização interna.



Fonte: Do autor (2020)

A itaúba foi escolhida para a montagem do esqueleto da porta por possuir uma maior densidade. Um comparativo entre as densidades das madeiras de uso comercial na região estará na tab. 03.

Tabela 03 - Densidade das madeiras comerciais na região

Nome científico	Nome popular	Densidade (g/cm ³)	Taxa de umidade
Mezilaurus itauba	Itaúba	0,96	15 %
Apuleia leiocarpa	Garapeira	0,83	15 %
Erismia uncinatum Warm, Vochysiaceae	Cedro	0,59	15 %
Eucalyptus	Eucalipto	0,49-0,73	15 %

Fonte: Madeireira Avaré

3.2 MEDIÇÃO SONORA

As medições foram utilizadas sonômetros digitais e o programa de LabView® para o registro de dados no computador.

3.2.1 Instrumentação

Na Tab. 04 se mostra a relação dos componentes utilizados para a captação sonora, todos os valores foram registrados por software LabView® ao computador, e os resultados foram processados por meio do software Excel®.

Tabela 04- Componentes para aquisição de dados.

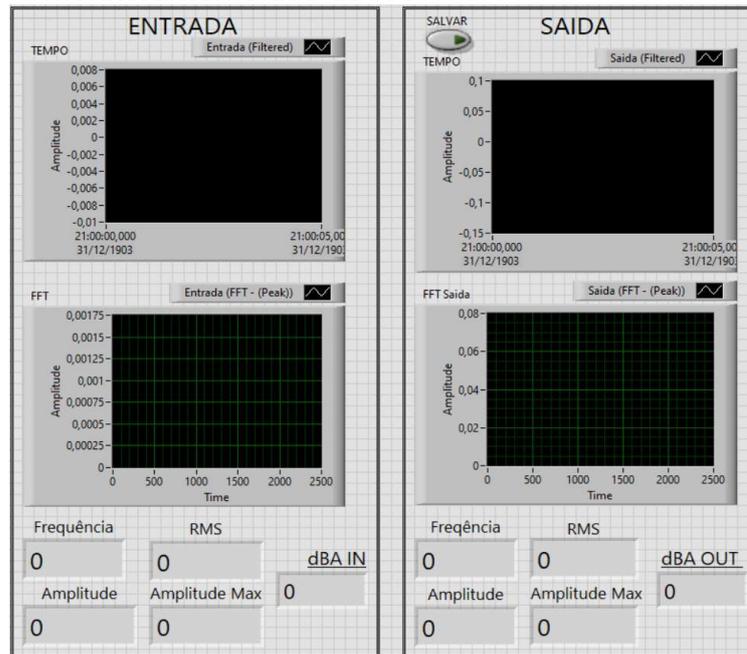
Componente	Especificação
Decibelímetro Digital	MSL-1355B
Oscilador de Áudio	Landmeier®
Auto Falante	Selenium MR54, 125W PMPO, 35W
Placa de Aquisição	NI USB-6002
Software	LabView®
Software	Excel
Notebook	Legion Y540

Fonte: Do autor (2020)

3.2.2 Labview

O programa desenvolvido usando o software LabView foi realizado com o intuito de processar os sinais de nível global de pressão sonora em dBA, capturados pelos decibelímetros. Os sinais analógicos possuíam a característica de alterar os sinais de tensões de acordo com a variação de pressão que recebe do meio físico. A Fig. 4 se mostra o painel frontal do programa de coleta de dados.

Figura 04: Painel frontal em LabView para monitoramento dos dados.



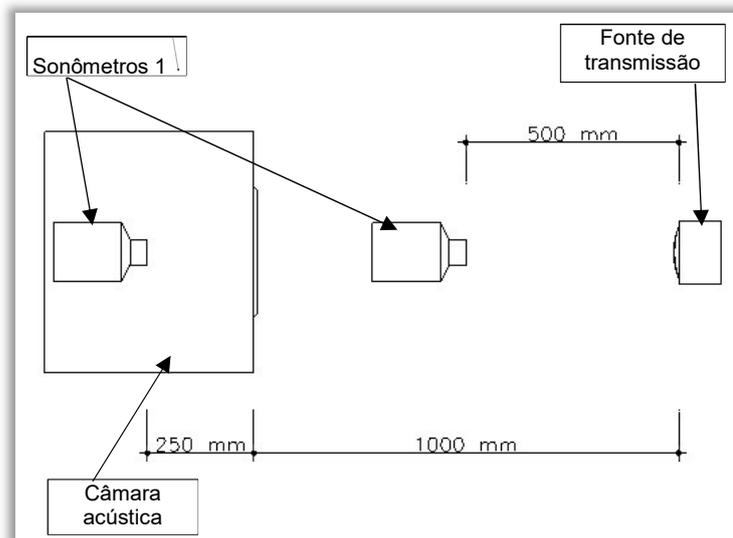
Fonte: Do autor (2020)

3.2.3 Posicionamento dos Microfones e Medidas de Som

A fonte de transmissão sonora foi posicionada na altura do centro da câmara acústica e afastada em um metro da porta. Os sonômetros 1 e 2 estão na mesma altura da fonte de transmissão sonora.

Sonômetro denominado 1, se instalou no centro da câmara e o sonômetro denominado 2, foi instalado a 500 mm da fonte sonora. O afastamento dos sonômetros e da fonte estão detalhados na Fig. 05.

Figura 05: Posicionamento dos sonômetros e fonte de transmissão sonora.



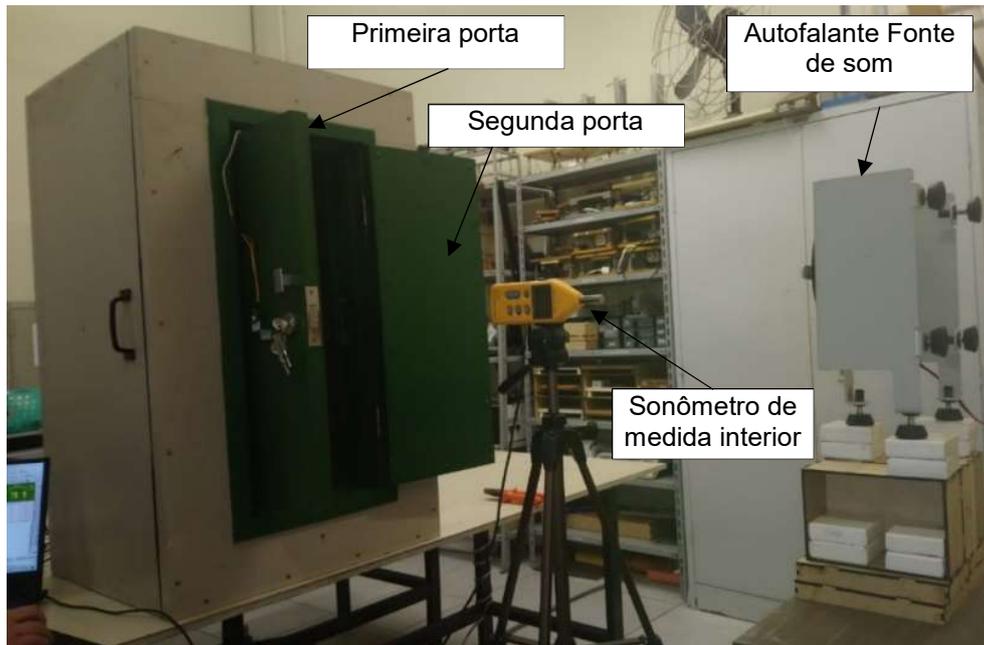
Fonte: Do autor (2020)

Foram realizados testes em diversas bandas de frequência, e submetidas cada uma em 5 níveis diferentes de pressão sonora 75, 80, 85, 90 e 95 dB.

A captação dos sinais de som foi realizada em três etapas, a primeira com as duas portas abertas, logo com uma porta fechada e finalmente com as duas portas fechadas. Deste modo se obteve os valores de som na parte exterior e interior usando dois sonômetros calibrados com medidas iguais no mesmo ponto. A Fig. 06 é a foto do momento da captação sonora.

Para o posicionamento dos instrumentos de medida se usaram as recomendações da norma ISO 717-1 (2013), considerando a eq. (5) no comprimento de onda. Para visualizar os sinais no tempo e frequência se usou a eq. (4).

Figura 06 – Fonte de som e os sonômetros



Fonte: Do autor(2020)

As portas de um ambiente são utilizadas para limitar o acesso, proteção e privacidade, sendo essa última prejudicada pelo problema acústico. As portas são fabricadas normalmente de metais, madeiras, aglomerados e alguns tipos de polímeros como o Policloreto de polivinila (PVC).

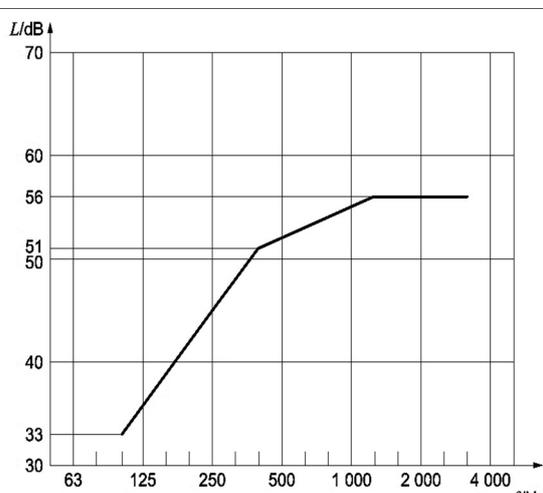
Com o intuito de reduzir custos, muitas portas se fabricam com perfis ocos e paredes finas empobrecendo o isolamento acústico, tendo em vista que já possui um agravante a espessura das portas, que normalmente variam de 30 a 35 mm.

3.3 PROCESSAMENTO DE DADOS

Para processar o cálculo do nível global de pressão sonora dos sinais se utilizou a Eq. (6). Para determinar a diferença do nível de pressão sonora em diferentes bandas de frequência se utilizou a Eq. (7) e a norma ISO 10140-2-2010.

Para avaliar os resultados de redução sonora ponderada se utilizou a equação (9) e a ISO 717-1 (2013). Os resultados são expostos graficamente seguindo as recomendações de medidas de terço de oitava da norma, exposto na tabela 5.

Tabela 05: Tabela comparativa ISO 717-1(2013)

Frequência Hz	Valores de referência dB		Curva de referência de valores de medições de som no ar em faixas de um terço de oitava
	Faixa de um terço de oitava	Faixa de oitava	
100	33	36	 <p>Linha de referência ISO 717-1 (2013)</p>
125	36		
160	39		
200	42	45	
250	45		
315	48		
400	51		
500	52	52	
630	53		
800	54		
1 000	55	55	
1 250	56		
1 600	56		
2 000	56	56	
2 500	56		
3 150	56		

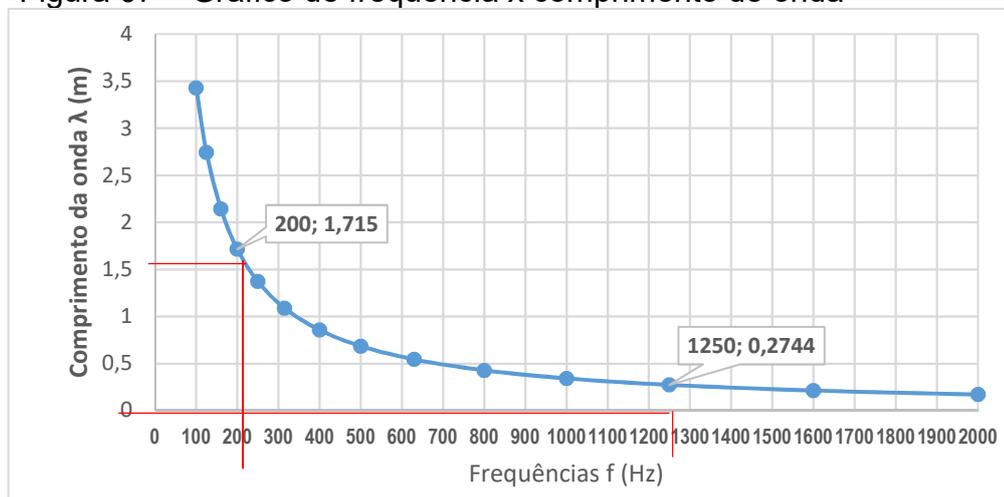
Fonte: ISO 717-1(2013)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fonte sonora emitia ondas de som puro em diferentes amplitudes. Para os ensaios se considerou a norma ISO 717-1 (2013) utilizando a tabela 5. Foi selecionada as faixas de terço de oitava faixa de 200 Hz até 1250 Hz.

O comprimento de onda se avalia usando a Eq. (5) determinando-se a distância do comprimento da onda decorrente da frequência A fig. 7 mostra a relação de distância e frequência de onda.

Figura 07 – Gráfico de frequência x comprimento de onda



Fonte: Do autor (2020).

A temperatura do ar se considerou a 20°C e a velocidade do som de 343 m/s. As faixas de oitavas de 45, 52 e 55, foram escolhidos pela limitações da calibração dos sonômetros e da fonte de emissão de ondas sonoras.

A distância entre a fonte sonora e a porta foi escolhido o valor médio ente a distância mínima e máxima do comprimento de onda a ser usado.

Tendo a velocidade do som (c) constante no meio, o comprimento da onda é diretamente proporcional a frequência (f), quanto maior a frequência menor o comprimento de onda, quanto menor o comprimento de uma onda menor a capacidade de atravessar uma superfície rígida, por isso os ruídos de baixa frequência possuem uma dificuldade maior de ser isolado (Bruna Croce, 2019).

4.1 CAPTURA EM BANDAS DE 1000 HZ.

O gerador de onda sonora foi ajustado à frequência em 1000 Hz. O nível de pressão sonora emitido foi de 75, 80, 85, 90 e 95 dB, os testes foram realizados em três etapas: primeiro com as portas abertas, logo com uma porta fechada e depois com as duas portas fechadas, somando um total de 15 medidas.

Com um valor médio dos sinais obtidos em cada nível de pressão sonora conseguimos obter suas incertezas de 10 medições, a Tab.06 mostra os resultados obtidos. A vantagem de fazer um teste em 1000 Hz é que as medidas de dB e dBA são as mesmas, ou seja, não são afetadas pela curva de ponderação.

Tabela 06 – Medidas do nível de pressão sonora para as três condições de ensaio.

Portas Abertas			1 Porta Fechada			2 Portas Fechadas		
Entrada	Interior	Diferença	Entrada	Interior	Diferença	Entrada	Interior	Diferença
75,53±0,09	71,34±0,25	4,20	75,79±0,59	43,94±0,78	31,85	74,92±0,08	38,11±0,44	36,81
80,68±0,20	79,25±0,22	1,43	80,03±0,36	46,18±0,40	33,85	80,15±0,19	39,39±0,51	40,77
85,67±0,01	86,32±0,07	-0,65	85,17±0,04	58,09±0,05	27,09	84,27±0,27	38,87±0,29	45,40
89,70±0,18	90,54±0,32	-0,84	90,63±0,18	64,68±0,12	25,95	88,94±0,08	41,75±0,24	47,19
94,78±0,20	95,28±0,49	-0,50	96,75±0,18	69,59±0,55	27,16	94,73±0,10	53,46±0,20	41,27

Obs: Todos os valores desta tabela são em dB.

Fonte: Do autor (2020)

Para os resultados do índice de redução aparente foi aplicada a Eq.10 resultando nos valores da Tab. 07, esses valores representam a diferença da pressão sonora entre dentro e fora da câmara acústica.

Tabela 07: Índice de redução sonora aparente R.

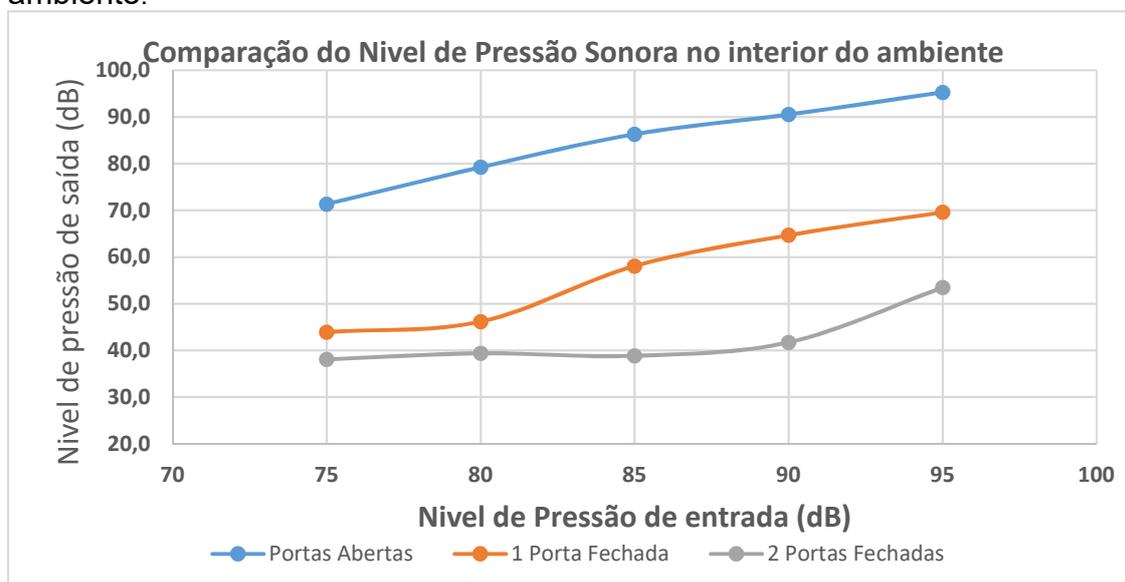
Pressão sonora	Portas abertas	1 Porta fechada	2 Portas fechadas
75 dB	-0,6703 dB	26,9797 dB	31,9397 dB
80 dB	-3,4403 dB	28,9797 dB	35,8997 dB
85 dB	-5,5203 dB	22,2197 dB	40,5297 dB
90 dB	-5,7103 dB	21,0797 dB	42,3197 dB
95 dB	-5,3703 dB	22,2897 dB	36,3997 dB

Fonte: Do autor (2020)

Observa-se que com as portas abertas obteve-se valores negativos, ou seja, dentro da câmara obteve-se valores maiores do que fora da câmara, isso pode ser devido a alguma reverberação no interior da câmara acústica.

Outro caso a observar é que os valores não foram constantes em alguns casos variando quase 10 dB dependendo do nível de pressão sonora, para ambos os casos de 1 e 2 portas fechadas, as incertezas das medidas foram baixas comparando com as médias obtidas pela Tab. 08. A Figura 08 mostra os valores de nível de pressão sonora no ambiente interior em função do nível de pressão sonora do ambiente exterior.

Figura 08 – Comparação do nível de pressão sonora medido no interior do ambiente.



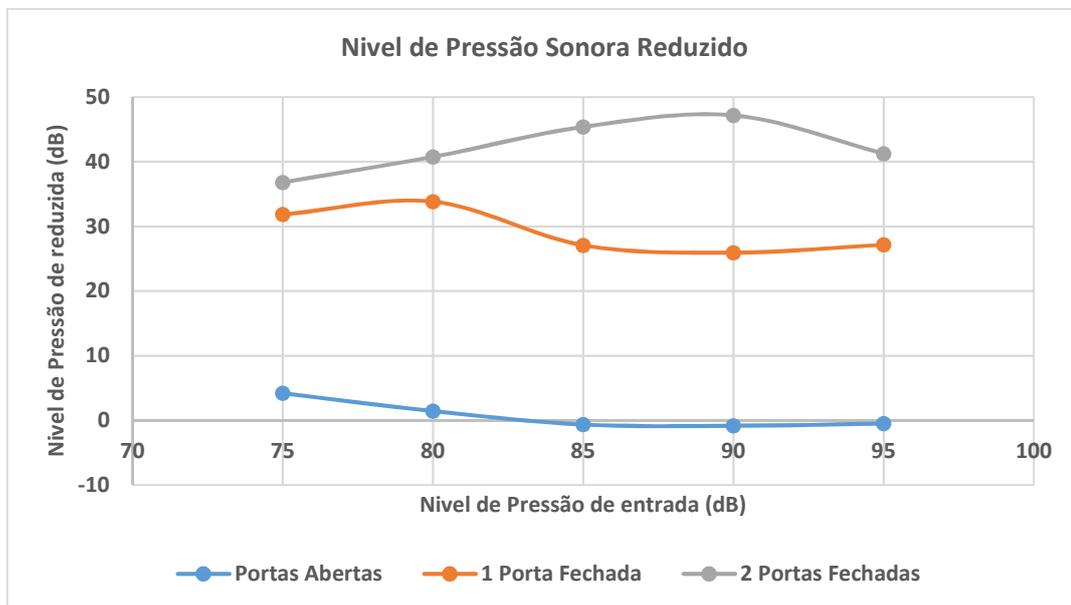
Fonte: Do autor (2020)

Ao observar o gráfico da Fig. 06 podemos ver que ambos os casos de 1 e 2 portas fechadas se comportam quase iguais e de forma linear, porém com uma porta fechada nota-se uma sensibilidade maior a níveis de pressão mais elevado.

Já com duas portas fechadas o gráfico se comporta quase de forma linear até 90 dB, tendo uma variação considerativa a 95 dB onde possui um nível maior de pressão sonora em seu interior.

Com os valores de Tab. 07 obteve-se o gráfico da Fig. 09, nela pode-se observar o comportamento da redução sonora no interior da câmara. Assim como na Fig. 08 observa-se um comportamento não linear, com uma porta teve uma queda de redução sonora bem significativa nos três últimos resultados, já com duas portas se comportou quase que de forma linear até o quarto resultado, ou seja, até 90 dB, tendo uma queda significativa na pressão de entrada de 95 dB.

Figura 09 – Comparação da redução da transmissibilidade do som para os três casos estudados.



Fonte: Do autor (2020)

4.2 CAPTURA COM PARAMETROS DA ISO 717-1 (2013) E NBR 15575-4:2013

Para a aplicação da ISO 717-1 (2013), os testes precisam ser feitos em diversas bandas de frequência, variando de 50 a 5000hz, para comparar com os limites imposto pelas linhas de referências da Tab.05.

Com os valores da Tab. 05 é a curva de referência descrito na mesma tabela, se deve interligar a curva obtida através dos meios práticos, para conseguir um índice único de redução ponderada.

Assim como os ensaios realizados a 1000 Hz, o oscilador de áudio foi ajustado nas frequências das bandas de terça de oitava mostradas na Tab. 05. Os níveis de pressão sonora utilizados foram de 75, 80, 85, 90 e 95 dB. Os testes foram realizados em duas etapas, com uma porta fechada e ambas as portas fechadas, para os valores externo foram captados os valores do sonômetro que ficara do lado de fora da câmara. Devido a limitações dos equipamentos, não foi possível capturar a intensidade sonora em todas as frequências requeridas, ficando apenas entre valores de 200 a 1250 hz.

Para chegar nos valores da Tab.08 foi necessário aplicação das formulas Eq. 07 e Eq.10, referentes a ISO 10140-4, obtendo assim os valores de R (Índice de redução ponderada) para cada faixa de frequência.

Tabela 08: Índice de redução ponderada (R)

1 porta		2 portas	
Hz	Valores R (dB)	Hz	Valores R (dB)
0	0	0	0
200	19,42101	200	24,19212
250	27,17717	250	27,01358
315	27,1479	315	28,26233
400	21,66197	400	28,32446
500	12,96043	500	23,99874
630	7,524842	630	15,40573
800	20,62491	800	18,63922
1000	29,19797	1000	31,82134
1250	13,57642	1250	30,31196

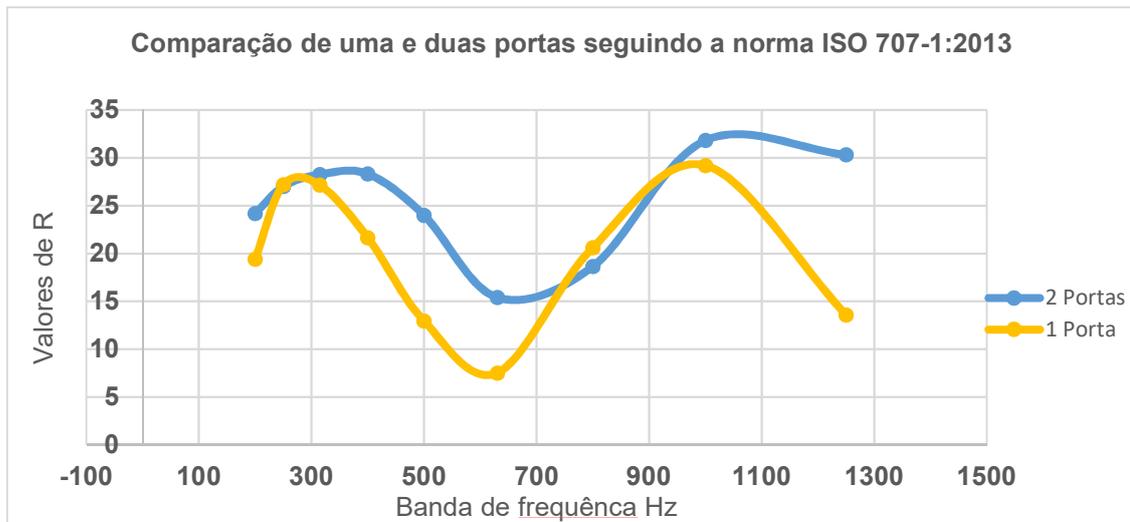
Fonte: Do Autor (2020)

Os parâmetros usados para quantificar o isolamento sonoro aéreo, são convertidos em um número fornecendo um índice ponderado, ou global, que caracteriza o desempenho acústico. O valor único facilita a comparação ou escolha de material, mas deve-se tomar cuidado e não esquecer que os parâmetros dependem da frequência. Os valores únicos para os parâmetros D_n , D_nT e R' são

expressos como D_{nw} , D_{nTw} e $R'w$. O procedimento para obter o índice ponderado, é descrito na norma ISO 717-1(MICHALSKI, 2011).

Com os valores referentes a Tab.10 cria-se uma curva de ponderação para cada caso, uma curva referente a uma porta fechada e outra curva referente a duas portas fechadas. Essas curvas estarão mostradas na Fig. 10

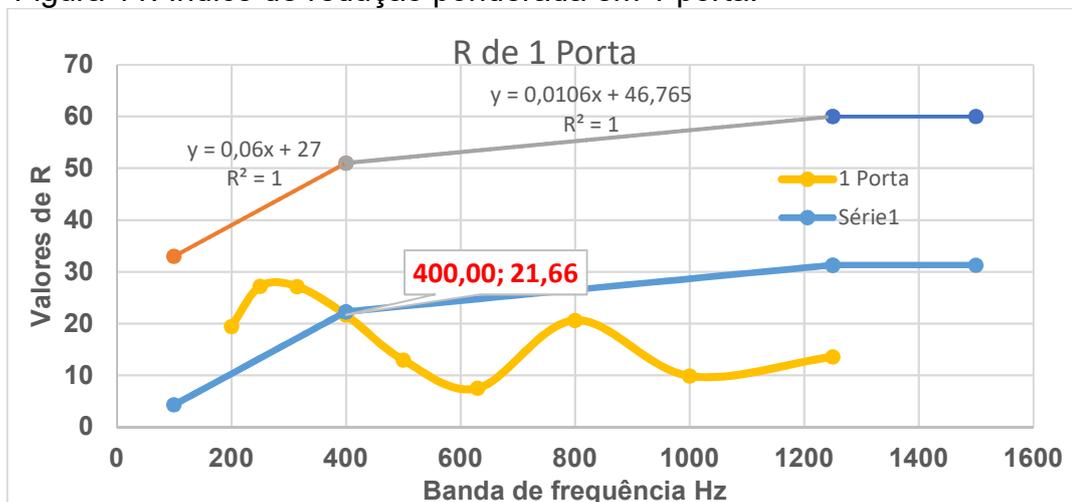
Figura 10: Curvas de redução ponderada de uma e duas portas fechadas



Fonte: Do autor (2020)

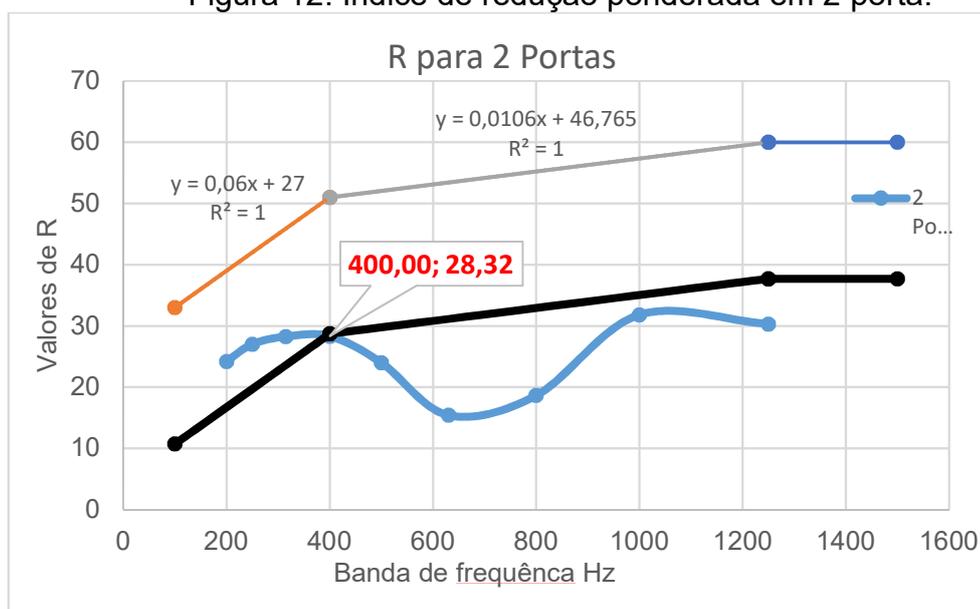
Para conseguir um índice de redução das portas é necessário cruzar as curvas com a curva de referência da ISO 717-1 (2013), separadamente. As curvas estão representadas na Fig. 11 e Fig. 12 respectivamente.

Figura 11: Índice de redução ponderada em 1 porta.



Fonte: Do autor (2020)

Figura 12: Índice de redução ponderada em 2 porta.



Fonte: Do autor (2020)

Com os valores de R encontrados é possível averiguar se elas atendem os requisitos mínimos da NBR 15575-4: 2013 citados na Tab. 09.

Tabela 09 - Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório

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

Nota: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.

Fonte: NBR 15575-4:2013 tabela 17.

Com uma porta foi encontrado o índice de redução ponderada de $R'w = 21,66$ dB, atendendo apenas a classe de ruído I, para duas portas foi de $R'w = 28,32$ dB, conseguindo subir para a classe de ruído II.

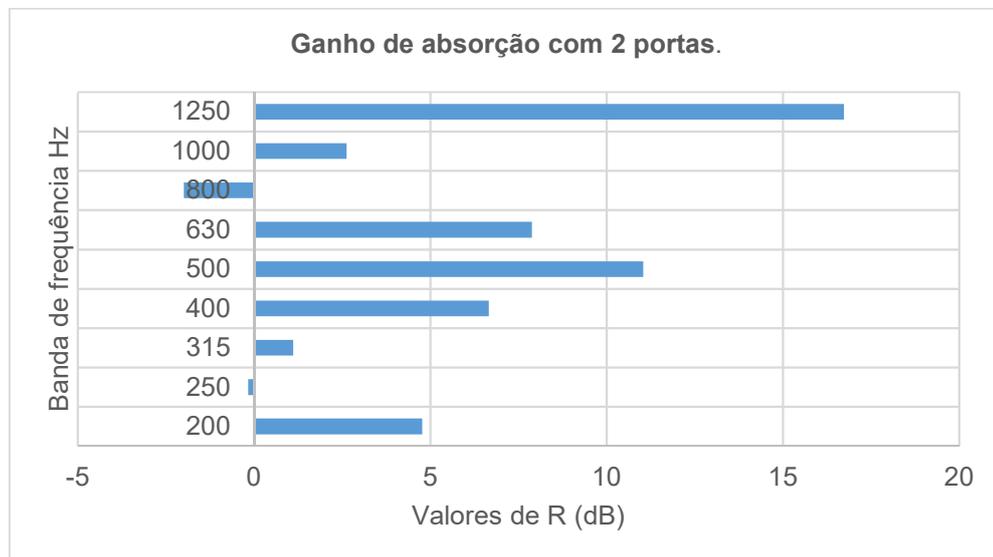
Mesmo a ISO 717-1 e a NBR 15575-4:2013 estipularem apenas um valor de redução geral para a porta, é interessante enfatizar que para cada banda de frequência o isolamento funciona de forma diferente.

Para fazer uma comparação do ganho de redução de duas portas para uma foi feito um gráfico de colunas, assim fica mais visível o ganho de redução para cada banda de frequência.

Também é possível observar que em duas bandas de frequência a diferença deu negativo, em 800 Hz e 250 Hz.

Para 800 Hz, notou-se uma reflexão sonora da parede da câmara, e a 250 Hz foi devido a incapacidade do material das portas em absorver nessa banda de frequência, nota-se que em 315 Hz também possui uma baixa capacidade de redução.

Figura 13: Ganho de absorção de duas para uma porta.



Fonte: Do autor (2020)

As medidas dos ensaios de campo procuram o valor de Diferença Padronizada de Nível Ponderada. As medições devem ser executadas com portas e janelas fechadas, tais como foram entregues pela empresa construtora. O Nível de desempenho mínimo de isolamento acústico são indicados na Tab. 09.

Foi observado a insuficiência nos valores recomendados pela NBR 15575, que introduz a chamada Classe de Ruído para isolamento de fachadas, visto que em alguns casos mesmo que tais valores de absorção de ruído sejam satisfeitos em campo, o ruído interno recomendado pela NBR 10152 nem sempre é atingido Filho A. et al (2018).

4. CONCLUSÃO

Foram obtidos resultados bem satisfatórios, com duas portas foi possível atender a classe de ruído 2, na qual com 1 porta se mostrou ineficiente, perante a norma NBR 15575-4:2013.

O ganho de redução em algumas bandas de frequência se mostrou pouco eficiente, isso pode ser ajustado com materiais isolantes dentro da porta, na qual foi proposto para este artigo, mas não foi possível aplica-los.

Como os testes foram feitos em uma porta de tamanho reduzido a um terço de uma porta tamanho real, será necessário fazer testes em uma porta, para comparar a diferença de ganho entre elas.

Com esses resultados concluiu-se que sim é possível chegar a valores aceitáveis para quase todas as exigências das normas ABNT NBR 10152:2017 e ABNT NBR 10151:2003, considerando que para uma porta real pode ser necessário alguma alteração como fechaduras extras para distribuir a força ou espumas entre marco e porta.

5.REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.151. Acústica: Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade: Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.152. Acústica: níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. 2a ed. Rio de Janeiro: ABNT; 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: edifícios: habitacionais: desempenho: parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013

BRUNA CROCE. Acústica básica – PARTE I. Portal ACÚSTICA, 2019.

Coelho, JL Bento. "Ruído em Cidades–Estratégias de Gestão e Redução." *Proceedings of ACUSTICA* (2004).

Ferreira Neto, Maria de Fatima, and Stelamaris Rolla Bertoli. "Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal." *Ambiente Construído* 10.4 (2010): 169-180.

Fernandes, Diana, et al. "EFICIÊNCIA ACÚSTICA: LÃ DE VIDRO E DE LÃ DE ROCHA COMO ISOLANTES PARA O SISTEMA DRYWALL." *Anais da Engenharia Civil/2595-1823* 1.1 (2018): 115-129.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10140-2: acoustics: laboratory measurement of sound insulation of building elements: part 2: measurement of airborne sound insulation. Geneva, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 717-1: acoustics: rating of sound insulation in buildings and of buildings elements: part 1: airborne sound insulation. Geneva, 2013.

LOSSO, Marco; VIVEIROS, Elvira. Gesso acartonado e isolamento acústico: teoria versus prática no Brasil. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC, São Paulo. 2004.

MACIEL, Bruno Araujo, et al. Modelagem do ruído urbano como instrumento de gestão ambiental. *XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Anais. Natal-RN, de, 2009, 25.*

MACIEL, Marcela Alvares et al. Controle ativo de ruído aplicado a venezianas acústicas. 2014.

MICHALSKI, RLXN. "Metodologias para medição de isolamento sonoro em campo e para expressão da incerteza de medição na avaliação do desempenho acústico de edificações." *COPPE/UFRJ* (2011).

Neto, Ançano Loschi, et al. "EFEITO DAS DIFERENTES MADEIRAS NO ISOLAMENTO ACÚSTICO." *Floresta* 38.4 (2008).

PAIXÃO, Dinara Xavier da et al. Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA). 2002.

AGRADECIMENTOS

A meus Pais Paulo Utê Rovaris e Elba Campos Lima Rovaris por me apoiar e sempre contribuírem com minha evolução como pessoa.

Ao meu orientador Dr. Elvys Isaias Mercado Curi, por sua atenciosidade e dedicação para com seu trabalho, e todo seu conhecimento transmitido a mim.

Ao acadêmico Álvaro de Souza Francisco Júnior por fazer parte deste projeto, e fazer toda calibração dos componentes e um programa pra captação.

A madeireira Sorato pela disponibilidade das madeiras para a fabricação da câmara e porta.

E minha namorada Ana Carolina Fidelis pessoa pelo apoio, incentivo e ajuda com normatização.