

ANÁLISE INICIAL DA VIABILIDADE DE UM PROJETO DE ISOLAMENTO ACÚSTICO PARA UM AUDITÓRIO CONDOMINIAL NA CIDADE DE MANAUS-AM

Reuel Dos Santos Bandeira¹; Ellis Ângela Barbosa de Araújo Simões ²

¹Curso de Engenharia Civil-Fundação Centro, Pesquisa e Inovação Tecnológica - FUCAPI, Manaus-AM-Brasil.

²Departamento de Ensino de Engenharia Civil - Fundação Centro, Pesquisa e Inovação Tecnológica – FUCAPI, Manaus – AM - Brasil.

reuel.bandeira@gmail.com, ellissimoes@gmail.com

Abstract: The present study analyzed the acoustic parameters of a condominium auditorium located in the city of Manaus (AM) whose problem identified in the enclosure concerns the absence of acoustic comfort and problems in the isolation and acoustic conditioning in the place.

Resumo: O presente estudo analisou os parâmetros acústicos de um auditório condominial localizado na cidade de Manaus (AM) cujo problema identificado no recinto diz respeito a ausência de um conforto acústico e problemas no isolamento e acondicionamento acústico no local.

Palavras-chave: Desempenho acústico. Condicionamento acústico. Isolamento acústico.

INTRODUÇÃO

A construção de casas e condomínios na sociedade atual é bastante crescente, visto que as pessoas buscam cada vez mais adquirir um imóvel, quer queira para investimento, quer queira para moradia própria. Em meio a esse cenário, surge a figura das construtoras e incorporadoras, de médio e grande porte, que são agentes atuantes nesse processo de ampliação da construção civil. Em muitos casos, o que é mais presente nas grandes metrópoles e zonas urbanas, há uma agravante de ruídos e poluição sonora, o que preocupa os moradores e alerta as construtoras e incorporadoras de imóveis.

Mediante esse panorama, o presente estudo propôs-se a analisar, de forma técnica, a viabilidade de um projeto acústico para um auditório condominial na cidade de Manaus. A proposta consiste em otimizar a audibilidade do espaço e diminuir os problemas com ruídos recorrentes no espaço durante a celebração de eventos e outras atividades dessa natureza.

1. FUNDAMENTOS ACÚSTICOS

Todo espaço em que circulamos, diariamente, é preenchido pela presença de som, que é essencial para o convívio humano e social. Para conceituar o som, Bistafa (2011) afirma que

o som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, que pode vir a ser detectada pelo ouvido humano, em alguns casos, não.

Carvalho (2006) menciona o ruído como um tipo de som que não é agradável ao ouvido humano. O ruído pode ser entendido como todo som de acepção negativa que gera desconforto e não é apazível, diferente de uma melodia, por exemplo. Ele geralmente é encontrado em áreas ou espaços de bastante agito e ausência de tranquilidade como: metrópoles, trânsito, estádios de futebol, shows, etc.

2 ISOLAMENTO ACÚSTICO

2.1 LEI DA MASSA

A análise do isolamento das paredes e do forro do auditório foi realizada a partir dos cálculos da perda de transmissão, porém, há uma frequência variada nas regiões controladas por massas, assim sendo, somente as frequências mais baixas tem a aplicação da lei da massa.

Os cálculos da frequência na região aplicada podem ser realizados a partir de uma série de parâmetros, porém, o mais importante para a realização da pesquisa é calcular esse detalhamento a partir da lei da massa. Assim sendo, conforme Bistafa (2011) a perda de transmissão (R) pode ser calculada pela lei da massa a partir de uma dada densidade superficial, onde R aumenta em toda faixa de frequência da região controlada pela massa quando a densidade da superfície do material é duplicada.

Logo:

$$R = 20 \log (mf) - 48 \text{ dB} \quad (\text{Equação 1})$$

$K = 20 \log f - 47,4$, onde a fórmula geral usada na prática é:

$$R = 20 \log m + K \text{ dB} \quad (\text{Equação 2})$$

Dessa forma, os dados de entrada (m) do objeto em kg/m², a frequência (f) e a perda de transmissão dada (R) para a frequência admitida. É de suma importância compreender que o cálculo da lei de massa tem grande importância nas análises de perda por transmissão de paredes para frequências baixas, por isso, para calcular a perda de frequências maiores será necessário utilizar outros métodos de cálculo.

2.2 PATAMAR

Para a realização de cálculos com objetivo de analisar as frequências maiores na perda de transmissão por parede ($f_c/2$ e f_1) existe um patamar que permanece constante com o valor da perda de frequência. Miguel e Tamagna (2007) afirma que após calcular a perda por

transmissão de metade da frequência em parede, essa perda permanece constante até a frequência f_l .

Abaixo:

$$f_l = 10 \log(fc) - 0,33 \log(\eta) - 0,267 \quad (\text{Equação 3})$$

A definição de parede leve e parede pesada dependem da massa por unidade de área. O η é o coeficiente de amortecimento e o f é a frequência média do cálculo que dará o valor de perda constante.

3. CONDICIONAMENTO ACÚSTICO

3.1 EXPRESSÃO DE MILLINGTON

Outra equação de suma importância para a caracterização da reverberação é a Expressão de Millington. Carvalho (2006) afirma que após a publicação dos resultados de Sabine, várias outras metodologias de cálculo da reverberação foram desenvolvidas.

A Expressão de Millington dá-se da seguinte forma:

$$T = 0,161V - \sum S_i \ln(1 - \alpha_i) \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo V o volume, S_i as superfícies e α_i os coeficientes de absorção.

Essa equação pode ser aplicada em superfícies que possuem o coeficiente de absorção com a acústica bastante diferentes entre si, ou seja, um recinto com uma variedade de pontos de reverberação, entretanto, ela não considera a absorção do ar.

3.2 EXPRESSÃO DE SABINE

O cálculo de reverberação de ambiente pode ser aplicado pela metodologia de cálculo baseada na Expressão de Sabine, que tem uma grande importância nos primeiros estudos sobre o tempo de reverberação em recintos. A NBR 12179 determina que essa metodologia de cálculo empregue um coeficiente médio de absorção menor ou igual a 0,3.

A fórmula construída por Sabine partiu da percepção de que em cada sala ensaiada o tempo de reverberação (t_{60}) era inversamente proporcional à absorção total (A), logo $A \times t_{60} = K_i$, se tornou uma constante para cada sala. Sabine identificou que era necessário realizar uma relação constante anterior com o seu volume, logo: $A \times t_{60} = K \times V$. Assim sendo, o produto está diretamente relacionado com o volume, pois t_{60} cresce em uma relação linear. K foi determinado o valor de 0,161 e que fecha a fórmula atual da equação de reverberação: $t_{60} = 0,161 \times V/A$, na qual:

$$A = \Sigma S_i \times \alpha_i \quad (\text{Equação 5})$$

A partir dos resultados obtidos pelo estudo geométrico, essa fórmula apresenta dados referentes ao volume do ambiente em m³, os coeficientes de absorção (α_i) tanto da área interna, quanto na área externa e o tempo de reverberação dá-se pela simbologia t_{60} .

4. DEFEITOS DE ISOLAMENTO E CONDICIONAMENTO ACÚSTICO NO AUDITÓRIO

Isolamento acústico é um processo que se objetiva impedir a transmissão sonora de um ambiente para outro, eliminando os ruídos prejudiciais à saúde. Define-se na capacidade do material em bloquear a incidência de ruídos para o ambiente externo. Condicionamento acústico representa a qualidade acústica interna tanto para garantir a compreensão da fala quanto para que a música seja agradável. Exemplos: um teatro deve ser condicionado, caso contrário a plateia não escutará o ator, e um restaurante sem condicionamento acústico nos obriga a elevar o tom de voz para conversar.

Em relação ao auditório o espaço sempre apresentou, desde a inauguração do condomínio em 2013, um grave problema quanto aos ruídos e distorções sonoras durante o uso para fins recreativos e administrativos, que foi observado e constatado em algumas visitas em campo no local. Ao qual também os moradores dos apartamentos vizinhos sempre reclamavam do ruído advindo do auditório. Observou-se que a acústica é um pouco falha quanto ao tempo de reverberação, visto que o retorno na caixa de som é bem baixo. Do lado de fora, verificou-se que há um incômodo perceptível quando há um evento sendo realizado, o que pode ser explicado pela ausência de uma acomodação acústica mais apropriada para um auditório com essa capacidade. O mesmo recebe uma grande demanda de eventos o que torna o problema recorrente e nos mostra que possui defeitos tanto na questão de isolamento quanto de condicionamento acústico.

5. METODOLOGIA.

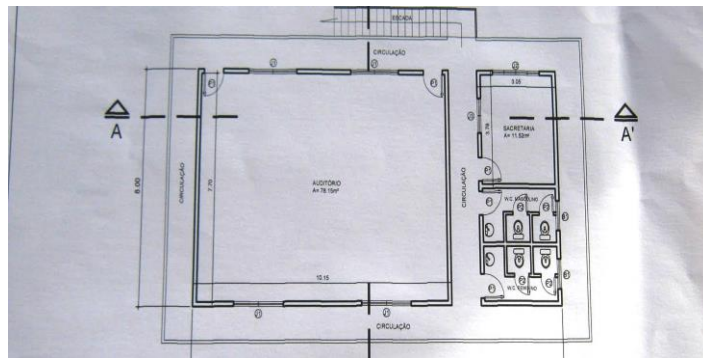
Os procedimentos metodológicos da pesquisa partiram nas análises dos fundamentos acústicos com os estudos de condicionamento e isolamento sonoro. Quanto aos métodos de cálculo, foram utilizados: Expressão Sabine e a Expressão de Millington (Condicionamento acústico) e a Lei da Massa e Patamar (Isolamento acústico). Para avaliação do espaço quanto a normalização vigente, foram abordadas as principais normas técnicas sobre acústica: NBR 12179/1992 e NBR 1015/2000. Com relação ao condicionamento acústico os dados de entradas para o cálculo da Expressão de Millington e de Sabine são o volume do ambiente, as superfícies,

e os coeficientes de absorção. Para os cálculos do Isolamento acústico utilizamos a Lei da Massa e Patamar do qual o dado de entrada para o estudo relacionou a massa do objeto, as frequências, o coeficiente de amortecimento e valores para frequência média com o objetivo de encontrar as perdas de transmissão.

6. RESULTADOS E DISCURSÕES

Para a realização do estudo de caso foi escolhido um auditório, que está situado em um condomínio residencial na Região Centro-Sul da cidade de Manaus, cujo tempo de construção do espaço é recente. O auditório possui uma área aproximada de 500 m² e comporta 350 pessoas sentadas. Ele é utilizado principalmente nas reuniões de condomínio, celebrações festivas e pequenas apresentações.

Figura 1 – Planta baixa



Fonte: Incorporadora (2019).

Foi realizada uma pesquisa documental junto a administração do condomínio, que solicitou da incorporadora responsável pela construção uma cópia digital da planta de construção do auditório (Figura 1) que serviu como parâmetro para a análise inicial do ambiente. De posse dessas informações, o estudo pôde compreender o modo de construção e captar quais os pontos de ineficiência na acústica do recinto.

Figura 2 – Área do palco



Fonte: Autor (2019).

O auditório possui um palanque com altura de 0,85 m (Figura 2), espaço para acomodação de caixas de som e painel visual estilo data show. As iluminações laterais são de LED e as paredes possuem uma estrutura mais espessa, porém sem qualquer estufa de isolamento acústico. As portas de entrada e saída são de madeira e o piso de cerâmica, os banheiros encontram-se atrás do palco, que possui apenas uma entrada de acesso.

O cálculo de reverberação do recinto e a posterior análise do condicionamento acústico foram realizados a partir do levantamento da área e do volume do local. O levantamento foi feito com trena e a partir da consulta a planta baixa do auditório, porém, fez-se necessário o uso da drena pelo fato da planta baixa apresentar algumas incoerências quanto as medições gerais.

Também foi feito o levantamento dos materiais presentes no auditório, juntamente com as suas devidas dimensões conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Dimensões dos móveis do auditório

Móvel	Área	Unidade
350 Cadeiras	50	m ²
Mesa de som 7,5x0,8m	4,95	m ²
Banco de madeira	1,75	m ²
Púlpito 50x70cm	0,9	m ²
02 Caixas de som	0,46	m ²

Fonte: Autor (2019).

Dessa forma, a área total do recinto é de 78,15m² e o seu volume total é de 178,1254 m³ sem contabilizar a área externa e os banheiros de visitantes, que possuem uma área de 11,52%. Após esse levantamento e metragem, é preciso obter os coeficientes de absorção sonora para os materiais de parede, esquadrias e os móveis que o auditório terá em seus dias de uso. Utilizaram-se os coeficientes de absorção sonora da NBR 12.179/1992, e para os materiais que não possuem um coeficiente determinado pela norma, foram consultadas fontes das literaturas da área e sites de construção civil.

Figura 3 – Coeficientes de absorção acústica segundo a ABNT 12.179/1992

Materiais	Frequências (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Portas de madeira, fechadas	0,14	-	0,06	-	0,10	-
Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Vidraça de janela	-	0,04	0,03	0,02	-	-
Chapas de mármore	0,01	0,01	0,01	-	0,02	-
Uma pessoa com cadeira	0,33	-	0,44	-	0,46	-

Fonte: ABNT (1992).

As determinações dos parâmetros relevantes do estudo de caso foram feitas a partir da obtenção dos dados de entrada para o cálculo do isolamento e do condicionamento acústico do auditório. Dois parâmetros nortearam o estudo: o tempo de reverberação para o condicionamento acústico e a perda de transmissão das paredes para o isolamento acústico do auditório. Conforme determinado anteriormente, a parede pesada é aquela que possui uma massa por unidade de área equivalente a 285 kg/m². Dessa forma, aplica-se a Lei de Massa para valores menores que a metade da frequência crítica de 115 Hz. Logo, a Lei da Massa para paredes pesadas aplica-se da seguinte forma:

$$R = 20 \log (m \times f) - 48 \quad (\text{Equação 6})$$

Com a Lei da Massa foram calculados os valores das perdas de transmissão (R) da parede para a frequência de 20 Hz e para a metade da frequência crítica (57,5 Hz):

Quadro 1 – Resultado da Lei de Massa

	m=	285	kg/m ²	.- >	PAREDE PESADA
f c/2:	R=	36,3	dB		
f=20Hz	R=	27,1	dB		

Fonte: Autor (2019).

Após o cálculo e apresentação do resultado da Lei de Massa, foi determinada a frequência f_l , a qual é a última frequência que a perda de transmissão permanece no patamar, ou seja, é igual a perda de transmissão da metade da frequência crítica ($R = 36,9$ dB).

A frequência f_l das paredes pesadas pode ser obtida da seguinte forma:

$$f_l = 10 \log(fc) - 0,33 \log(\eta) - 0,267 \quad (\text{Equação 9})$$

Sendo:





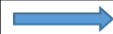
η o coeficiente de amortecimento (0,01 para paredes de alvenaria)

f_l estimada em 284,25 Hz para paredes de alvenaria

Para a realização do estudo a frequência mais importante é a de 500 Hz, por ser próxima a frequência de voz humana. Assim sendo, calculou-se a perda por transmissão para frequências acima de f_l . Elas foram calculadas a partir da seguinte expressão:

$$R = 20 \log(m \times f) + 10 \log(n \times f / fc) - 45 \quad (\text{Equação 10})$$

Quadro 2 – Resultados da perda de transmissão das paredes simples de alvenaria

R= 44,46 dB		f=500 Hz
R= 53,49 dB		f=1000 Hz
R= 62,52 dB		f=2000 Hz
R= 71,55 dB		f=4000 Hz
R= 80,58 dB		f=8000 Hz

Fonte: Autor (2019).

Conforme o resultado exposto no Quadro 2, percebe-se que as perdas de transmissão das paredes simples apresentaram-se de forma escalonada em função da sua frequência, onde se percebe que conforme a variação da f há uma variação proporcional de perda, que pode ser apresentada, inclusive, para maior entendimento, em uma escala logarítmica.

7. VIABILIDADE DO PROJETO

Após as análises realizadas no auditório, através dos cálculos feitos e dos parâmetros descritos através das normas, constatou-se a existência de dois problemas relacionados ao condicionamento acústico do auditório, ao qual dentro do local existia um tempo de reverberação alto e a falta de retorno nas caixas de som, o que dificultava as apresentações musicais, as palestras e demais atividades dentro do auditório relacionadas à acústica, tornando difícil entender com clareza o que estava se falando. O outro problema identificado foi em relação ao isolamento acústico do local, pois havia uma grande incidência de dB's que ultrapassava as paredes do auditório chegando nos apartamentos vizinhos em forma de ruído, o que era bastante prejudicial.

Para dar condicionamento acústico e minimizar ou eliminar a reverberação de um local é preciso esconder ou substituir paredes relacionadas ao ambiente interno, pisos e forros que sejam de materiais rígidos, como gesso, reboco liso, concreto, metal, madeira, pvc etc., pois estes materiais têm alta capacidade de refletir as frequências, evento que gera a reverberação. Como solução ao auditório foi proposto a instalação de forro mineral no ambiente, pois este material tem uma capacidade alta em absorver frequências, colocar tapetes ou um revestimento tipo carpete em todo piso do auditório, como também cortinas nas paredes de madeira, alvenaria, janelas e portas, ao qual esses materiais são ótimos absorvedores de frequência o que irá melhorar o condicionamento acústico do local e os problemas com reverberação. Através desses parâmetros tornou-se viável o projeto.

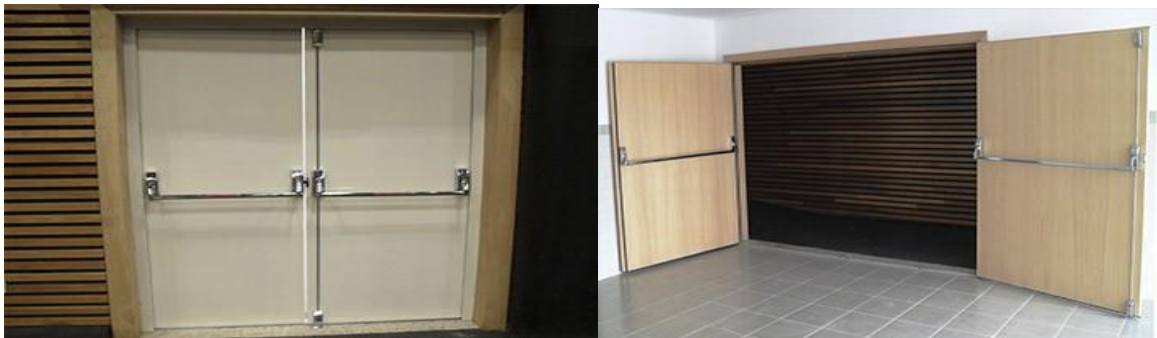
Em relação ao isolamento acústico de local deve-se atentar em relação à incidência do som a área externa, para o auditório a alternativa é vedar bem as portas e janelas, aplicar um revestimento de lã de vidro nas paredes, aproveitando as paredes prontas pode ser feito a

aplicação com gesso à cartonado, aplicar um revestimento de vidro ou uma tapeçaria. Através desses métodos temos a redução ou eliminação do problema relacionado aos ruídos na área externa.

8. PROPOSTA DE PROJETO ACÚSTICO

Após analisar os métodos de cálculo comparou-se os mesmos com as especificações de norma para o acondicionamento e isolamento acústico do local. A NBR 12.179/2012 traz um tempo de reverberação mediana quanto a 500 Hz em função do volume do recinto, porém há um tempo de reverberação bem maior na faixa de 0,35 segundos. Em geral, o tempo de reverberação para um espaço tão grande e com um volume desse porte deveria ter uma variação menos oscilante, tendo em vista que é um espaço que terá, futuramente, a presença de outros móveis, o que aumentará a ocupação por m² e, conseqüentemente, a variação do tempo de reverberação. No caso do isolamento acústico, o auditório possui duas paredes com perda por transmissão abaixo das demais. A NBR 10.151/2000 apresenta limites de níveis de ruído aceitáveis em diferentes tipos de áreas e período do dia. Para as áreas mistas (predominantemente residencial) como condomínios e moradias, no qual o auditório está inserido, as avaliações em dB são de 55 dB para o período diurno e 50 dB para o período noturno. Considerando as paredes críticas a partir da análise do isolamento acústico do auditório, onde elas apresentam uma aproximação da entrada, bem como a parede do palco, que possui uma área em madeira, considerou-se que uma intervenção na alvenaria traria um custo desproporcional ao condomínio e também demorado, por isso, a melhor solução apresentada para a perda de transmissão sonora é fazer uma intervenção na porta. Assim sendo, a solução com melhor viabilidade seria a troca por portas de vidro, modificando apenas a folha da porta, sendo barato e rápido uma perda maior dessa frequência. Foi apresentado um tipo de porta (Porta de vidro – acústica) ideal para a estrutura do auditório (Figura 4).

Figura 4 – Porta de vidro (acústica)



Fonte: Amazon Temper (2019).

Em contato com a empresa AmazonTemper, empresa especializada em vidros temperados, modulados e produtos para construção civil e vidraçaria em geral, localizada na Zona Franca de Manaus (ZFM), apresentamos os resultados obtidos na pesquisa quanto ao isolamento acústico e foi apresentada como recomendações as seguintes portas apresentadas na figura 4.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos objetivos propostos nesse estudo foi de analisar o ambiente e propor um projeto de isolamento e condicionamento acústico que viesse a viabilizar uma melhor qualidade no desempenho acústico do auditório, levando em consideração, também, o custo benefício. Assim sendo, a pesquisa conseguiu propor através do estudo um projeto viável que viesse a atender a demanda do condomínio quanto a uma solução que apresentasse uma melhoria no conforto acústico do auditório, sendo essa a principal problemática encontrada no local: falta de conforto acústico.

REFERÊNCIAS

- AFA SR. Acústica aplicada ao controle do ruído. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.151: acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.179: Tratamento acústico em recintos fechados – procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- CARVALHO RP. Acústica arquitetônica. Brasília: thesaurus, 2006.
- GRUPO AMAZON TEMPER. Isolamento acústico. Disponível em: < <https://amazontemper.ind.br/produtos-de-otima-qualidade/> >. Acesso em: Out. 2019.
- MIGUEL LFF; TAMAGNA A. Tópicos de acústica aplicada. Porto Alegre: UFRGS, 2007.