

ANÁLISE ACÚSTICA DA QUADRA DA COMUNIDADE CATÓLICA SHALOM DE MOSSORÓ.

Antônio Augusto da Silva Mendonça¹, Subênia Karine de Medeiros²

Os altos níveis de ruído produzidos nas grandes cidades são constantemente causa de inúmeros incômodos, e para resolver esse tipo de problema existem diversas formas de tratamento acústico que podem ser aplicadas a ambientes. No presente trabalho, fez-se uma análise acústica de um recinto com o objetivo de propor uma solução a um problema real relacionado ao alto nível de ruído produzido dentro de uma quadra de característica estrutural semi-aberta. A análise primeiramente se deu por meio da consulta de profissionais da área, da pesquisa a respeito da propagação sonora e dos materiais mais utilizados para correções acústicas, a partir daí compreendeu-se que o problema se tratava de um excesso de reflexão. Para que o problema fosse sanado estudou-se diversas configurações acústicas mesclando alguns tipos de materiais, e a partir daí, sugeriu-se a utilização de um revestimento feito de materiais absorventes a fim de diminuir a reflexão. Para descobrir o material que melhor atendesse as especificações, fez-se uma comparação entre os materiais mais relevantes, utilizando alguns parâmetros acústicos e o seu custo. Optou-se pelo uso da lã de vidro como revestimento, pois além de ter bons parâmetros acústicos, detém um custo acessível, o que é de extrema importância levando em conta que o local possui um grande volume. Atrelado a isso sugeriu-se a edificação de uma barreira acústica que garantisse uma ventilação satisfatória e recomendou-se um reposicionamento da fonte emissora de ruído. Por fim o trabalho atendeu de forma satisfatória seu objetivo, propondo uma solução eficiente para o problema proposto.

Palavras-chave: Tratamento Acústico, Controle de ruído, Materiais absorventes

1. INTRODUÇÃO

Os mais diversos tipos de sons e de ruídos permeiam todos os espaços de convivência humana, o que mostra a grande importância do som para a vida dos indivíduos. Estes, estão sujeitos a um grande nível de informação sonora, e por vezes essa situação se transforma em desconforto, trazendo à tona a necessidade do tratamento acústico de recintos.

O tratamento acústico de recintos é um tema de grande relevância quando se leva em conta a crescente complexidade organizacional das cidades modernas. Diversos são os casos em que adequações são necessárias para que o ambiente tenha uma qualidade acústica satisfatória, seja para correção do tempo de reverberação, isolamento acústico, diminuição de ecos, entre outros.

Para cada recinto é necessária uma análise própria, dada as suas particularidades e o objetivo pretendido para o tratamento acústico. Para cada análise, deve-se levar em conta que o som é uma onda mecânica que se propaga em todas as direções de forma esférica [1], o que dificulta resoluções mais simples, tendo em vista que a onda penetra brechas e frestas e apresenta fenômenos que são próprios da propagação sonora, que interferem fortemente na qualidade e intensidade do som, tais como a reflexão, absorção e transmissão. Por esse motivo, é importante compreender de que maneira o som se propaga dentro do ambiente em questão, e como o recinto responde a esse estímulo. De posse dessas informações, é possível propor soluções viáveis baseadas em estudos dos materiais e no resultado que se deseja alcançar.

Em ambientes que apresentam fluxo de pessoas considerável, como templos religiosos, há uma geração de ruído proporcional ao número de pessoas. Se o local não for tratado acusticamente, produzirá certo desconforto sonoro para a vizinhança. Nessa perspectiva, esse trabalho deseja propor métodos para amenizar os ruídos transmitidos para a vizinhança que rodeia a quadra da Comunidade Católica Shalom, que já manifestou legalmente descontentamento com os altos níveis sonoros produzidos durante as reuniões do grupo religioso. Para isso, deve-se compreender de que maneira o som propaga-se dentro da quadra e os fenômenos atrelados ao mesmo, a fim de propor um tratamento acústico que atenuar o nível sonoro produzido e transmitido para fora da edificação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que se inicie o estudo de salas e ambientes para análise acústica é necessário compreender alguns conceitos básicos sobre a natureza do som, tais como os princípios que regem sua propagação, o método de medição do nível sonoro, a unidade de medida entre outros. Conhecer esses conceitos é de extrema importância para propor uma solução para problemas relacionados a acústica.

2.1. SOM

Para carvalho, “O som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, passível de ser detectada pelo ouvido humano” [2]. A partir desse conceito, nota-se que existe uma infinidade de sons, tendo em vista a ampla faixa de frequência de 20 a 20000 hertz que é detectável pelo ouvido humano, e as variações entre som e a ausência dele gerando diversas melodias e, consequentemente, sensações diferentes ao ouvido humano.

A onda sonora se propaga de maneira esférica, e por vezes pode haver uma direção preferencial que caracteriza o direcionamento do som [2]. Por essa característica esférica e por se propagar num meio material, percebe-se que o som não é facilmente barrado, o que evidencia a maior ou menor eficácia dos meios de propagação sonora.

2.2. RUÍDO

O ruído é caracterizado como determinados sons que geram sensações indesejáveis ao ouvido humano. Para que se caracterize um som como indesejado Bistafa (2018) pontua que deve-se observar sua serventia [3]. Por exemplo, um músico que ensaia para buscar a excelência, considera agradável o som produzido pelo seu clarinete durante os ensaios. Porém, para seu vizinho de apartamento esse mesmo som pode ser um ruído extremamente irritante.

2.3. NÍVEL SONORO

Inicialmente o bel (B) foi definido como a unidade física referente ao som, e recebeu esse nome em homenagem a Graham Bell e as indústrias Bell que o desenvolveu para medir a perda de potência em cabos de telefonia em relação a potência inicial. Por esse motivo o bel é uma unidade relativa que mede o nível de potência em relação a uma potência de referência como exposto na equação 1.1 [3].

$$bel = \log\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad (1.1)$$

Por ser uma grandeza logarítmica, evidenciou-se que era necessária alguma correção para que a unidade abrangesse mais claramente variações menores de potência, e dessa forma criou-se o decibel (dB), que é dez vezes menor que o bel. Comumente utiliza-se o nível de intensidade sonora L_I para medições acústicas, que é dado pela equação 1.2:

$$L_I = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (1.2)$$

Outro parâmetro necessário na análise do som é o nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}) em decibéis ponderados em “A” [dB(A)] descrito na equação 1.3, ele é a medida padrão normatizada para aferir ruídos [4,5], e é aceito internacionalmente. O dB(A) se baseia na curva de compensação ou ponderação “A” (figura 1). Curvas de compensação servem para corrigir a resposta da medição uniforme do equipamento, levando em conta que o ouvido humano não tem a mesma sensibilidade para todas as frequências. Cada curva é utilizada para um tipo de medição e a curva “A” é a que mais se aproxima da sensação audível humana para ruídos aéreos de baixa intensidade, e por isso é utilizada com uma espécie de ouvido padrão [2].

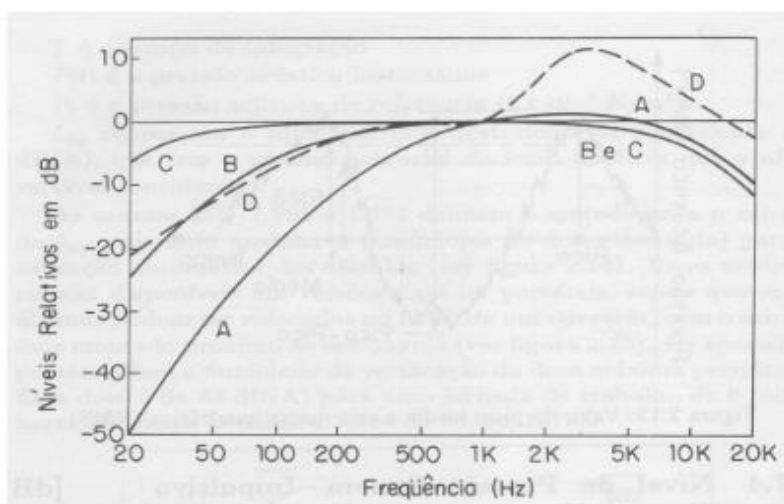


Figura 1. Curvas de compensação [6].

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}. \quad (1.3)$$

L_i é o nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (fast) a cada 5 s, durante o tempo de medição do ruído, “n” é o número total de leituras” [4].

Além dos parâmetros já citados, é necessário que se conheça o índice de redução sonora (R), ele é medido em laboratório e serve para quantificar a perda de transmissão sonora conforme indica a equação 2.1.

$$R = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (2.1)$$

Em que

L_{p1} = Nível de pressão sonora na sala da fonte (dB)

L_{p2} = Nível de pressão sonora na sala de recepção (dB)

S = área da divisória ou parede entre as salas (m²)

A = área de absorção sonora equivalente da sala de recepção (m²)

Os fatores L e A utilizados para medir índice de redução sonora são influenciados pela frequência, o que gera uma quantidade de dados por frequência que não é interessante para situações mais práticas, dessa forma optou-se por um número único que permitisse uma comparação melhor entre materiais, esse número é o índice de redução sonora ponderado (R_w) que é obtido a partir dos valores específicos do R . A metodologia de obtenção do R_w está descrita na norma ISO 717-1:2013 [7].

Um parâmetro semelhante ao índice de redução sonora é a diferença padronizada de nível (D_{nT}), ele serve para indicar a diferença de nível de pressão sonora percebida entre uma sala e outra, diferentemente do R , esse parâmetro é medido em campo, ou seja, as parcelas de energia absorvida também são levadas em conta, o D_{nT} é obtido a partir da equação 2.2 e baseia-se no tempo de reverberação[8].

$$D_{nT} = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (2.2)$$

Em que

T = tempo de reverberação no local receptor (s)

T_0 = tempo de reverberação de referência (s)

De maneira análoga ao R_w , a diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$), é feita a partir de valores tomados do D_{nT} e aplica-se a ponderação a partir da norma ISO 717-1:2013 [8]. A diferença entre o R_w e o $D_{nT,w}$ é considerada na faixa de 5 dB a depender das condições de contorno. [9]

2.4. PROPAGAÇÃO SONORA

Por ser uma onda mecânica o som se propaga em um meio material, sendo assim, meios materiais distintos devem apresentar taxas de propagação distintas e consequentemente velocidades de propagação diferentes [2].

A propagação do som em campo aberto se caracteriza pela ausência de objetos que interfiram significativamente na sua trajetória. Quando existem barreiras sonoras, aparecem efeitos como a reflexão, absorção e transmissão do som e esses precisam ser levados em consideração, pois nessas condições as soluções acústicas diferem de locais abertos.

2.5. REFLEXÃO

A reflexão é um dos fenômenos mais importantes a serem levados em conta para a análise acústica de recintos e acontece quando o comprimento da onda incidente é menor que a dimensão do anteparo [12]. Quando ocorre reflexão a onda sonora não ultrapassa o meio, ou seja, é redirecionada para outra direção, essa orientação depende do ângulo de incidência da onda, fazendo uma espécie de espelhamento da mesma maneira que ocorre com a reflexão da luz [2,13], por esse motivo o formato da superfície com que as ondas se chocam influencia bastante na reflexão, sendo essa mais difusa para anteparos convexos e mais concentrada para anteparos côncavos, conforme mostra a Figura 2. O material que o recinto é feito ou revestido também exerce grande influência na reflexão, materiais muito pesados e com superfície polida geralmente são bons refletores pois quanto mais rígido for o meio maior será a dificuldade de penetração das ondas sonoras, fazendo com que elas sejam refletidas. Deve-se sempre levar em conta a finalidade do tratamento acústico, pois em certas situações a reflexão em excesso pode piorar bastante o som dentro do recinto causando reverberação e dificultando o entendimento.

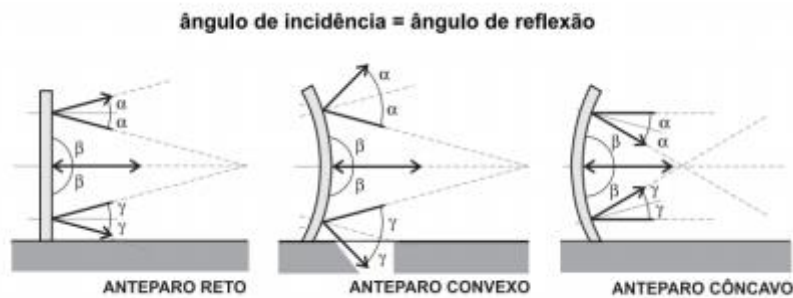


Figura 2. Tipos de Anteparos [14].

2.5.1. REVERBERAÇÃO

A reverberação é um fenômeno oriundo das reflexões onde o som permanece mais tempo dentro do recinto e interage com a propagação direta, isso acontece em consequência de várias reflexões primárias que tornam-se ondas incidentes e que podem ser novamente refletidas por outras superfícies [12], cada vez que isso acontece a intensidade da onda sonora diminui. A mistura da onda incidente (mais forte) com as múltiplas reflexões (mais fracas) gera uma região dotada de reverberação conforme ilustra a Figura 3. A reverberação afeta diretamente a inteligibilidade, que está associada ao grau de entendimento das palavras pelos ouvintes [2], e por esse motivo é necessário que a reverberação seja projetada conforme o ambiente necessitar, buscando evitar o excesso de superfícies refletoras e controlando o tempo de reverberação.

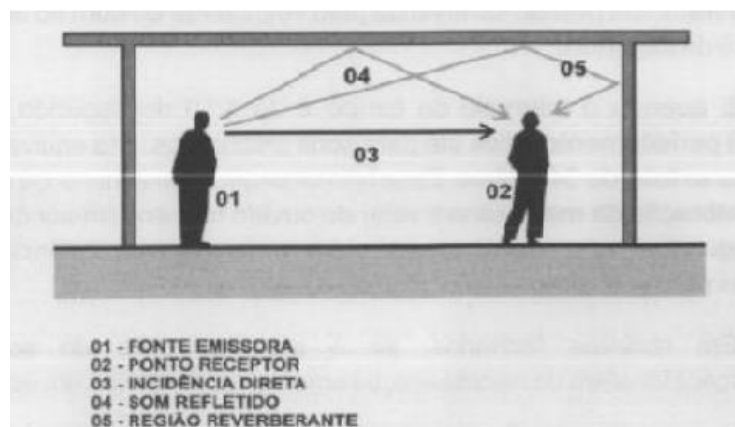


Figura 3. Ilustração da reverberação [2]

O tempo de reverberação é um parâmetro que mede o tempo que o nível sonoro demora para decair em 60 dB após a emissão [15]. Esse parâmetro é de extrema importância na análise de ambientes, tendo em vista que cada local tem um determinado tipo de uso, consequentemente, um tempo de reverberação satisfatório diferente. Se o tempo de reverberação for muito longo, dificultará a inteligibilidade do local, não sendo interessante para recintos que são utilizados para palavra falada. Por outro lado, se o tempo de reverberação for muito curto, em algumas partes do recinto o som não será bem percebido, o que não é interessante para salas de concerto [3].

2.6. ABSORÇÃO

A absorção é uma propriedade relacionada à capacidade do material se opor a reflexão, ela pode ser dividida em duas parcelas, a energia transmitida e a dissipada [13]. A energia dissipada se transforma em calor por meio do atrito e da viscosidade do ar [10], o que implica que a qualidade da absorção depende diretamente da natureza do material em favorecer esse atrito.

Além do fator relacionado ao tipo do material também existem outros fatores a levar em conta, tais como a frequência incidente, o ângulo de incidência e as condições de montagem, essa última se relaciona a espessura do material e ao modo de fixação [16].

Convém lembrar ainda que um material que apresente uma alta transmissão, mesmo que tenha um coeficiente de absorção alto, não será eficaz, pois a maior parte da energia sonora será alocada para fora do recinto, um bom exemplo disso é a análise de uma janela aberta, que por estar aberta não terá energia refletida, revelando assim um alto coeficiente de absorção, entretanto, toda a energia está sendo transmitida para fora do recinto, o que não é

interessante nem para a vizinhança e nem para o local em questão[3].

2.7 COEFICIENTES DE ABSORÇÃO E REFLEXÃO

Quando o som encontra uma barreira, a onda sonora incidente (E_i) se divide em algumas parcelas como mostra a Figura 4. Ao entrar em contato com um obstáculo, parte da energia incidente é refletida (E_r) e retorna ao ambiente, outra parte fica retida no material e a esta dá-se o nome de energia dissipada (E_d), o restante da energia que atravessa o material é chamada de energia transmitida e denota-se por (E_t), dessa forma temos:

$$E_i = E_r + E_d + E_t. \quad (3.1)$$

Os coeficientes de absorção e reflexão são definidos através da equação 3.1, e para isso utilizar-se-á o termo energia absorvida (E_a) que é a combinação da energia dissipada com a transmitida:

$$E_i = E_r + E_a. \quad (3.2)$$

Dividindo a equação por E_i teremos:

$$1 = \frac{E_r}{E_i} + \frac{E_a}{E_i}. \quad (3.3)$$

Finalmente é encontrado:

$$r + \alpha = 1 \quad (3.4)$$

onde: r é o coeficiente de reflexão e α é o coeficiente de absorção do material. [10]

A partir da equação 3.4 nota-se que a reflexão e a absorção são complementares, ou seja, na medida em que uma diminui a outra aumenta, por esse motivo utiliza-se apenas o coeficiente de absorção para expressar as propriedades do material, ele pode variar entre $0 < \alpha < 1$, e quanto mais próximo a 1 mais absorvente será o material. O coeficiente de absorção depende de vários fatores que serão explanados nas próximas seções.

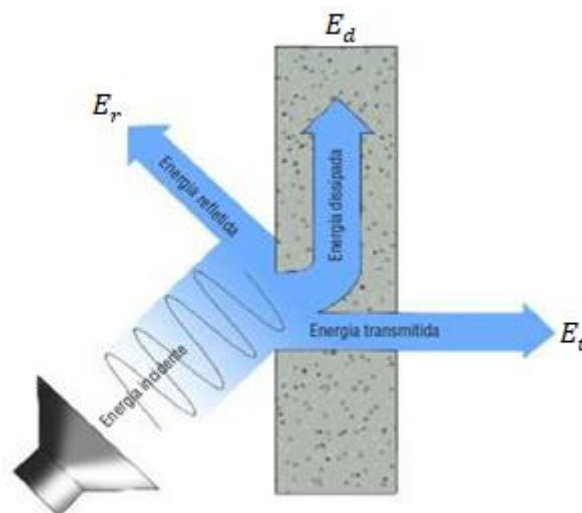


Figura 4. Parcelas de energia sonora (adaptação [11]).

2.8. TIPOS DE MATERIAIS

Existem vários materiais e soluções acústicas no mercado que podem ser aplicadas para o tratamento acústico de um recinto, e além dos materiais absorventes existem também os que são isolantes, refletores e difusores, cada tipo de material tem uma aplicação específica e um mecanismo de funcionamento diferente.

2.8.1 ABSORVENTES

Os materiais absorventes acústicos são tipicamente porosos ou fibrosos e o principal mecanismo de absorção de energia desses materiais é a dissipação por atrito de partículas de ar que fluem nos espaços vazios do material [3]. Por esse motivo a sua estrutura interna e densidade são propriedades que influenciam grandemente no seu

desempenho. Nos materiais fibrosos o mecanismo de absorção se baseia no princípio da vibração das fibras, já nos materiais porosos o que acontece são inúmeras reflexões nos poros do material, que acabam por enfraquecer o som, conforme é ilustrado na Figura 5.

Existem diversos tipos de materiais absorventes no mercado, desde fibras minerais, espumas e até mesmo o EPS (isopor), esses materiais devem ser escolhidos com base no seu coeficiente de absorção, além disso, também deve-se buscar uma boa relação custo-benefício para os projetos ou correções acústicas necessárias, sempre levando em conta o equilíbrio, pois o excesso de absorção pode gerar salas surdas ($\alpha_{\text{médio}} = 0,40$) [16], em que os espectadores tem dificuldade de compreender e de escutar pela falta de reflexão necessária.

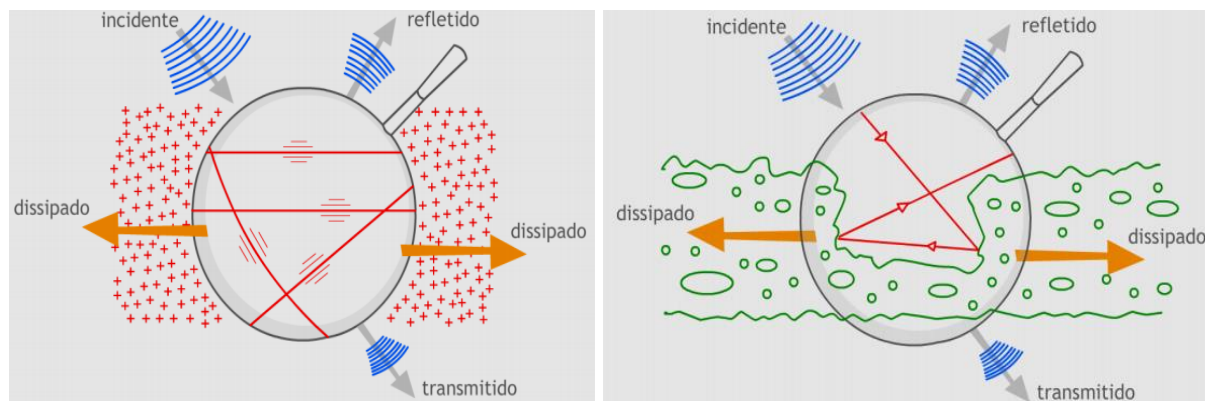


Figura 5. Mecanismo poroso e fibroso [17]

2.8.2 ISOLANTES

É o tipo de material que predomina a reflexão, impedindo que boa parte do som seja transmitido [2], contudo é necessário que se compreenda que esse tipo de material aumenta a reflexão interna e muitas vezes esse aumento é significativo o que pode fazer com que a qualidade do som dentro do recinto não fique tão boa.

Para esse tipo de material o que importa é a densidade, quanto mais denso o material, melhor será a qualidade do isolamento, sendo assim, existem vários tipos de materiais isolantes, por exemplo as paredes de alvenaria. Para a quadra em questão uma das possíveis soluções com materiais isolantes seria a construção de uma barreira na parte frontal, essa barreira poderia ser de alvenaria simples ou dupla, pode-se ainda utilizar o sistema *drywall* que é uma espécie de sanduiche em que geralmente é utilizado lã de vidro ou lã de rocha entre as paredes ou divisórias [18].

2.8.3 DIFUSORES

Os difusores trabalham com um mecanismo de reflexão difusa e são importantes para corrigir problemas que podem ser gerados por ondas estacionárias [19], também conseguem melhorar a qualidade sonora do ambiente, promovendo um som mais aveludado [10]. Além disso são importantes para que o som se espalhe por todo o recinto de maneira uniforme. Existem vários tipos de difusores, podem ser geométricos em forma de pirâmide, cunha, esféricos entre outros, os mais conhecidos são os de Schroeder que utilizam um plano modificado com diferentes profundidades baseadas numa sequência quadrática [10].

2.8.4 RESSONADORES DE HELMHOLTZ E MEMBRANAS

Os ressonadores de Helmholtz são formados por um recipiente rígido que se comunica com o ambiente por uma cavidade ou gargalo, podem ser feitos em vários formatos e o seu funcionamento acontece quando o ar presente no gargalo reage a vibração da massa de ar do recipiente formando um sistema massa-mola em que o recipiente trabalha como a mola e a coluna de ar presente na cavidade trabalha como a massa [19], por sua característica construtiva os ressonadores de Helmholtz apresentam uma frequência de ressonância em que desenvolvem desempenho máximo, ou seja, são mais utilizados para frequências específicas do que para uma faixa de frequência, pois sua banda de absorção é muito estreita [19]. As membranas seguem o mesmo princípio dos ressonadores no que diz respeito ao sistema massa mola, também apresentam a prevalência de uma frequência de ressonância e são colocadas sempre à frente de uma superfície rígida a fim de enclausurar o ar, no entanto são mais utilizadas para baixas frequências.

3. DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Para todo e qualquer tratamento acústico ou análise sonora de ambientes, é necessária uma caracterização do local em questão e ter claro o objetivo do tratamento. Neste trabalho, o local em questão é uma espécie de quadra,

utilizada pela Comunidade Católica Shalom para eventos religiosos, situada na Rua Lopes Trovão, número 805, Bairro Doze Anos, na cidade de Mossoró, Rio Grande do Norte. O som produzido durante as reuniões realizadas na quadra é considerado excessivamente barulhento pela vizinhança, situação comprovada pela secretaria do meio ambiente, a partir de laudo que descreve o nível sonoro produzido conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado das medições do nível de ruído (adaptada [20])

PONTOS	DESCRIÇÃO	MEDIÇÕES – Leq (dB)				
		1°	2°	3°	4°	MÉDIA
1	Em frente- calçada do empreendimento	82,4	84,1	86,1	85,5	84,4
2	Em frente – calçada vizinha da frente	98,2	88,5	77,1	76,2	84,9
3	Calçada do Vizinho à direita do empreendimento	76,3	73,1	72,5	69,8	72,9
4	Calçada do Vizinho à esquerda do empreendimento	74,9	78,2	72,2	67,5	73,2
MÉDIA TOTAL						78,9

O nível de ruído médio medido em dB(A) foi de 78,9 o que não ultrapassa os 85 dB(A) que é o limite estabelecido pela lei municipal 8.052/10/01/2002, no entanto a NBR-10151 que diz respeito ao nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos em dB(A) especifica que para áreas mistas, predominantemente residenciais o limite do NCA é 55 dB(A) diurno e 50 dB(A) noturno, ou seja, para que o local esteja em conformidade com a norma é necessária uma atenuação de ruído de pelo menos 28,9 dB(A), o que fortemente indica a necessidade de um estudo sobre o local a fim de propor soluções acústicas.

A quadra tem características acústicas semiabertas, o que dificulta a análise do problema tendo em vista que soluções voltadas apenas para recintos fechados ou em campo aberto não surtirão o efeito pretendido. A quadra é retangular e tem dimensões de 34,700 m de comprimento e 18,370 m de largura, e uma cobertura metálica em formato parabólico, com ponto mais alto de aproximadamente 9,144 m de altura e extremidades com 6,510 m, a partir do nível do solo da quadra, um desenho esquemático é mostrado na Figura 6.

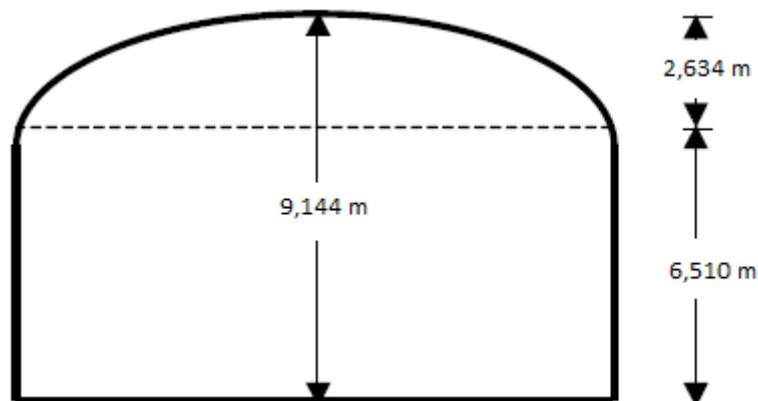


Figura 6. Vista frontal esquemática (adaptação [21])

As reclamações da vizinhança sobre o elevado nível sonoro surgiram após a construção da cobertura da quadra, provavelmente isso ocorreu porque antes da quadra ser coberta boa parte da energia sonora se dissipava como em campo aberto e havia menor reflexão e reverberação. Após a cobertura, esses efeitos foram potencializados pelo material com o qual a mesma foi construída e pela sua forma parabólica que favorece maior reflexão como já exposto na Figura 2.

As laterais da quadra contam com placas metálicas instaladas a uma altura de aproximadamente 3,508 m de em relação ao piso da quadra, elas foram instaladas para barrar a incidência dos raios solares. Na lateral esquerda, conforme mostra a Figura 7, essas placas metálicas estão presentes em toda a extensão da quadra, já no lado direito algumas placas não foram colocadas conforme mostra a Figura 8 por não haver a mesma incidência que o esquerdo tendo em vista que ao lado da quadra situa-se uma casa que também pertence a comunidade e que barra os raios solares. A partir da Figura 9 percebe-se que o fundo da quadra também conta a instalação de placas metálicas, colocadas com o objetivo de atenuar o som propagado para os vizinhos que residem atrás do edifício, no entanto as placas contribuem para a reflexão do som em direção a parte frontal.

Observando a Figura 10 percebe-se que o problema ainda é agravado porque a parte frontal da quadra tem barreiras muito baixas, que por ser constituída, em parte, por chapas metálicas, acaba contribuindo para o aumento da reflexão, além do fato que acima desta barreira não há nada que absorva o som que é produzido dentro da quadra

e direcionado principalmente para a parte frontal. Nota-se também que do outro lado da rua encontra-se uma árvore muito alta e densa, que de certa forma impede que o som se propague para longe, causando uma concentração na casa do vizinho que procurou a secretaria do meio ambiente.



Figura 7. Lateral esquerda (Autoria própria)



Figura 8. Lateral direita (Autoria própria)



Figura 9. Final da quadra (Autoria própria)



Figura 10. Início da quadra (Autoria própria)

4. METODOLOGIA

Primeiramente, consultou-se alguns arquitetos para compreender a melhor maneira de analisar o local pretendido, juntamente a essa ação pesquisou-se a literatura especializada para que se conhecesse as soluções acústicas presentes no mercado e o seu mecanismo de atenuação, o que garantiu uma base sólida para propor uma solução eficaz. Percebeu-se que no que concerne a locais acústicos semi-abertos como no caso estudado, a literatura é escassa ou inexistente, pois os livros relacionados a acústica tratam mais de locais fechados e apresentam uma pequena seção para propagação sonora em campo aberto, tornando o estudo de caso mais complexo e tendo que mesclar soluções para atingir uma atenuação satisfatória.

Como a reflexão e a absorção são complementares, consequentemente quanto maior a reflexão menor será a absorção e como o ambiente em questão é semi-aberto, esse efeito potencializará o nível de ruído que o exterior do ambiente receberá. A partir daí optou-se por analisar as superfícies e compreender a sua influência e contribuição para a reflexão no local, a fim de propor uma solução que diminua este fenômeno levando em conta que o ambiente em questão é muito reflexivo. Para atenuar a reflexão sugeriu-se várias soluções desde a utilização de forro acústico passando pela aplicação de algum tipo de revestimento nas superfícies, e para isso foi feita uma pesquisa específica para materiais absorvente buscando comparar o seu custo-benefício. Por fim pesquisou-se tipos de barreira acústica que poderiam ser utilizados no local, buscando, entretanto, uma perda de ventilação menos severa do que a apresentada pela parede tradicional de alvenaria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir de uma análise do ambiente, notou-se que o problema central a ser corrigido está relacionado a reflexão e direcionalidade do som para a parte da frente da quadra, tendo em vista a grande quantidade de superfícies metálicas presentes no ambiente. Dessa maneira compreende-se que os materiais isolantes terão pouca serventia tendo em vista que mesmo resolvendo o problema exterior aumentarão a reflexão no interior do recinto, o que prejudicará a clareza e o entendimento do som através de um acréscimo na reverberação, deve-se notar ainda que se a opção escolhida for um muro de alvenaria o mesmo diminuiria severamente o fluxo de ar. Quanto a utilização de difusores, apesar de ajudarem na distribuição do som pelo recinto, esses não aniquilam a reflexão interior e dada as características do recinto em análise, eles pouco ajudarão na atenuação necessária.

Os ressonadores de Helmholtz poderiam ser utilizados como uma espécie de barreira, todavia esse componente apresenta uma eficiência baixa para frequências diferentes da de ressonância se comparada com a necessidade apresentada, o mesmo ocorre para as membranas, sem falar que elas necessitam de uma superfície rígida, geralmente uma parede que provavelmente precisaria ser alocada na parte frontal, o que mais uma vez diminuiria boa parte do fluxo de ar.

Restringidas as opções para o tratamento acústico, resta descobrir qual a superfície que tem maior influência na reflexão para focalizar os esforços. De posse da informação que o problema foi gerado após a construção da cobertura da quadra, nota-se que a superfície que mais contribui para a reflexão é o teto, pois detém formato parabólico que condensa as ondas sonoras refletidas, além de ter uma área maior, se comparado com as outras superfícies. Entretanto, tratar o teto seria demasiado caro pela grande área que o compreende, mesmo se houvesse a utilização de forro para diminuir a reflexão do teto, essa opção ainda seria inviável pelo seu alto custo, resta-nos tratar outras superfícies, nesse caso as laterais e o fundo, pois contribuem para colimar os raios refletidos em

direção à frente da quadra, impedindo a sua dispersão para outras regiões.

As laterais precisam ser revestidas por um material absorvente para que haja uma diminuição da sua reflexão e uma maior absorção das ondas diretas e refletidas, para que se escolha esse material faz-se necessário comparar as soluções disponíveis no mercado, entre elas encontram-se as lãs, as mais famosas são a de vidro, rocha e pet, cada uma detém suas próprias particularidades, desde o processo de fabricação passando pelo coeficiente de absorção e o custo. Além das lãs existem ainda as espumas acústicas, essas apresentam uma grande variedade de modelos, cores e formas e tem um coeficiente de absorção, no geral, muito bom, contudo é primordial levar em conta o seu custo-benefício.

Para descobrir qual material deve ser utilizado comparou-se as lãs com a espuma acústica conforme mostra a Tabela 2, e para isso utilizou-se materiais com espessura parecida levando em conta dois parâmetros, o coeficiente de absorção e o NRC, que é a média aritmética dos coeficientes de absorção para as frequências 250,500,1000 e 2000 Hz [3].

Tabela 2. Coeficiente de absorção sonora de materiais absorventes (compilado de [3,22-26])

Material	ρ (kg/m ³)	ε (m ²)	Frequência central de banda de oitava (Hz)						NRC
			125	250	500	1000	2000	4000	
Isover- Santa Marina placa de lã de vidro aglomerado.	30	50	0,17	0,62	0,90	1,08	0,97	0,92	0,92
Thermax -rockfibras feltro de lã de rocha basáltica.	32	50	0,16	0,52	0,82	0,92	0,94	0,96	0,80
Isosoft IR-50 placa de lã de pet.	-	50	0,25	0,58	0,89	0,97	0,94	0,95	0,84
Sonex Roc - espuma acústica de poliuretano.	30	45	0,15	0,70	1,00	0,85	0,91	0,90	0,90
Sonic wave – espuma acústica de poliuretano.	30	50	0,10	0,74	0,96	0,88	0,88	0,92	0,87

Nota: Valores de α maiores que a unidade devem-se apenas ao método de medição.

No geral os materiais expostos na Tabela 2 apresentam um bom coeficiente de absorção, dentre as lãs analisadas notou-se que a lã de vidro se sobressaiu em relação as demais e obteve o melhor NRC, e dentre as espumas a da marca Sonex obteve um NRC mais alto.

Em termos de custo, as espumas são de longe as que apresentam maior custo por m² e para aplicação em grandes áreas os projetos sairiam muito caros, já os feltros da lã de vidro e da lã de pet estão numa faixa de valores parecida, quanto ao valor do feltro da lã de rocha, esse chega a ser mais que o dobro do da lã de vidro em alguns sites.

Lembrando que os coeficientes acústicos não quantificam diretamente o valor em decibéis que será atenuado pela utilização de um determinado material [27], e por esse motivo o R_w tem especial utilidade. Para paredes de *drywall* de especificação 73/48/600 estima-se que quando se utiliza o “recheio” de lã de vidro há um acréscimo no R_w que pode chegar a valores da faixa de dez decibéis [28], o que é um incremento de atenuação considerável, demonstrando a eficácia da aplicação desse tipo de material.

Para resolver o problema apresentado na Figura 10, poder-se-ia utilizar o sistema mencionado acima, com paredes de *drywall* feitas a partir de gesso acartonado ou concreto, o que diminuiria a quantidade de energia sonora transmitida para fora, tendo em vista que essa área aberta é a mais significativa. No entanto, como já mencionado, é necessário pontuar que se toda a área vazada for fechada, a circulação de ar será drasticamente comprometida e o desconforto térmico dentro da quadra será agravado. Uma solução para esse impasse seria a construção de uma barreira que atenuasse as ondas sonoras sem que impeça drasticamente a circulação de ar, para isso pode-se construir o anteparo utilizando cobogós, sua eficiência foi comprovada por meio de um estudo realizado na UFRN, que testou diferentes tipos de blocos e configurações utilizando a tecnologia do ressonador de Helmholtz. Dentre as opções expostas, o bloco que apresentou melhor resultado foi o tipo 3, com cerca de 12 % de área aberta, no entanto como a quadra carece de ventilação, recomenda-se utilizar o tipo 1 que apresenta 19% de área aberta e conta com uma diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$) de 21 dB [29].

Atualmente as caixas de som são colocadas deitadas no chão, a fim de diminuir a incidência direta nas residências a frente do edifício, no entanto existe um efeito adverso se levarmos em conta que dessa maneira ocorre uma potencialização da incidência direta com o solo e com a cobertura. Por ser de concreto liso, o solo detém um NRC muito baixo, da ordem de 0,015 [3], já o teto por ser de aço galvanizado, detém um NRC de cerca de 0,020 [30] o que ocasiona grande reflexão. Para amenizar os efeitos da incidência direta com o solo e teto, poder-se-ia

erguer as caixas de som a uma determinada altura, o que modificaria a trajetória das ondas sonoras, aumentando o caminho percorrido por elas conforme mostra a figura 11, além disso a direção preferencial da onda incidente seria mudada, fazendo com que a energia sonora atingisse primeiramente o público, que detém um NRC de aproximadamente 0,445, que é bem maior do que o chão e a estrutura [2].



Figura 11 (Autoria própria)

6. CONCLUSÕES

A partir da análise da quadra da comunidade católica Shalom, compreendeu-se que o local tem características peculiares de um recinto semi-aberto, e por esse motivo é necessário mesclar soluções para alcançar um bom resultado. Ao analisar as superfícies com que se construiu a cobertura da quadra compreendeu-se que o problema principal na questão estudada está relacionado a grande quantidade de reflexão, pois a quadra detém muitas superfícies refletoras e um forte direcionalidade do som para rua. Buscando diminuir esse efeito, comparou-se os principais tipos de material disponível no mercado, e concluiu-se que os que melhor atendem a necessidade são os absorventes. De posse dessa informação pesquisou-se entre os materiais absorventes o que melhor se encaixava no problema abordado, levando em conta alguns parâmetros acústicos e o custo, atrelado a isso sugeriu-se a utilização de um anteparo formado de cobogós que atenuam os efeitos sonoros sem uma perda tão drástica de ventilação. Por fim sugeriu-se a suspensão do sistema emissor do som com o intuito de aumentar a distância percorrida pelas ondas, a fim de diminuir sua intensidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Ondas-II. In _____. **Fundamentos de física: Gravitação, ondas e termodinâmica**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, c2009. p.150.
- [2] CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. Brasília:Thesaurus,2006. 167 p.
- [3] BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada no controle do ruído**.3. ed. São Paulo: Blucher, 2018. 436 p.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151/2000: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- [5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996-1:2016(en): Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures**.
- [6] COMO fazer a avaliação do ruído. **EcoSilenzio**,2010. Disponível em: <<http://www.ecosilenzio.com.br/blog/ler/como-fazer-a-avaliacao-do-ruído>>. Acesso em: 30 de jan. de 2020. 1 ilustração
- [7] Radavelli., G. F Índice de redução sonora ponderado. In: _____. **Avaliação experimental da perda de transmissão sonora em paredes externas de light steel frame**. Dissertação (Dissertação em engenharia civil) - UFSM. Santa Maria, 2014. 158 p.
- [8] MICHALSKI, R. L. X. N. **Metodologias para medição de isolamento sonoro em campo e para expressão da incerteza de medição na avaliação do desempenho acústico de edificações**. 2011. 235 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575/2013 Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

-
- [10] COSTA, Ennio Cruz da. Fenômenos relativos a propagação do som. In: COSTA, Ennio Cruz da. **Acústica técnica**. São Paulo: Blucher, 2003. p. 30-33.
- [11] SOUZA, I. K de; SERRANO, P. G. Materiais Acústicos, O que são? Portal Acústica, 2016. Disponível em <<http://portalacustica.info/materiais-acusticos-o-que-sao/>>. Acesso em: 30 de jan. de 2020. 1 ilustração.
- [12] HENRIQUE, Luís.L. **Acústica musical**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002. 1105 p.
- [13] MENEZES, Flo. Reflexão e Absorção. In: MENEZES, Flo. **A acústica musical em palavras e sons**. Cotia-SP: Ateliê Editorial, 2004. p. 51-52.
- [14] CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. 2. ed Brasília:Thesaurus,2010. 1 ilustração
- [15] MATEUS, Diogo. **Acústica de edifícios e controlo do ruído**. Coimbra, 2008. 80 p.
- [16] PRATA, Shimomura, Alessandra, et al. **Absorção Sonora**. São Paulo: Texto, 2017. 47 slides, color.
- [17] PORTELA, Marcelo. **Materiais acústicos: conceitos para acústica arquitetônica**. [200-?]. 1 ilustração.
- [18] TANIGUTI, Eliana Kimie. Terminologia das vedações verticais internas de chapas de gesso acartonado. In:_____. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado**. Dissertação (Dissertação em engenharia) – Escola politécnica da USP. São Paulo, 1999. p. 11-14.
- [19] CYSNE, Luiz Fernando Otero. **A nova bíblia do som**. Sl: Cia do Ebook, 2016.
- [20] FRANCISCA, M. B. **Laudo técnico de avaliação de ruído**. Mossoró: Mega Consultoria e Serviços, 2019. 7 p.
- [21] BRASIL, René Porfirio Camponez do. **Utilização de exaustores eólicos no controle da temperatura e da ventilação em ambiente protegido**. 2004. 74 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, USP, Piracicaba, 2004. 1 ilustração.
- [22] ACÚSTICA, Vibrasom Tecnologia. **Sonique wave**. 2020. Disponível em: <<https://www.vibrasom.ind.br/revestimento-acustico-sonique-wave.html>>. Acesso em: 30 jan. 2020.
- [23] LTDA, Illbruck Sonex Industrial. **Forro e revestimentos acústicos para teto e paredes**. 2020. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/owa/placas_acusticas.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2020.
- [24] TRISOFT. **Lã de pet isosoft: Termoacústicos sustentáveis**. 2020. Disponível em: <<http://acartonadogesso.com.br/images/downloads/isosoft.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2020.
- [25] TRISOFT. **Lã de pet isosoft: Isolamente termoacústico**. 2020. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/trisoft/catalogo-trisoft.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2020.
- [26] FIBRAS, Rock. **Thermax-flex**. 2020. Disponível em: <https://rockfibras.com.br/ficha_thermax.html>. Acesso em: 30 jan. 2020.
- [27] BRANDÃO, Eric. Absorção sonora vs. isolamento sonoro. In: BRANDÃO, Eric. **Acústica de salas: Projeto e modelagem**. São Paulo: Blucher, 2018. p. 477.
- [28] 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, 1., 2004, São Paulo. **Anais...**. São Paulo: claCS, 2004. p. 3 - 12.
- [29] ARAÚJO, Bianca Carla Dantas de. **Proposta de elemento vazado acústico**. 2010. 169 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 2010.
- [30] RODRIGUES, Maíra, Neves. **Metodologia para definição de estratégia de controle e avaliação de ruído ocupacional**. 2009. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, UFSM, Belo Horizonte, 2009.
-



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às onze horas do dia seis de fevereiro de dois mil e vinte, na Sala 05 do Bloco de Aulas V do Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **Antônio Augusto da Silva Mendonça**, aluno do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2017010754**, com o título **“ANÁLISE ACÚSTICA DA QUADRA DA COMUNIDADE CATÓLICA SHALOM DE MOSSORÓ”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Profa. Dra. SUBÊNIA KARINE DE MEDEIROS, presidente da banca e orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso; Profa. Dra. ERLANIA LIMA DE OLIVEIRA e Profa. M.e. MYLENA MAYLA DE SOUSA, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 10,0 ; 10,0 ; 10,0. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral 10,0. E para constar, eu, SUBÊNIA KARINE DE MEDEIROS, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 06 de fevereiro de 2020.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Profa. Dra. SUBÊNIA KARINE DE MEDEIROS – UFERSA
Presidente e orientadora

Profa. Dra. ERLANIA LIMA DE OLIVEIRA – UFERSA
Primeiro Membro

Profa. M.e. MYLENA MAYLA DE SOUSA - UFERSA
Segundo Membro