ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DE SALA POR TEMPO DE REVERBERAÇÃO DE SABINE E EYRING

Camila Taciane Rossi [1]

Willian Magalhães de Lourenço [2]

Eduardo Henrique Lucca Santos [3]

Gabriela Meller [4]

João Luiz Dobrovolski Tochetto [5]

Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos [6]

Resumo:

Em detrimento do advento de novas tecnologias, a construção civil denotou que a qualidade acústica dos ambientes é um problema que deve ser pensado ainda na etapa projetual, desta forma, evidenciando de que os estudos que tangem conforto acústico provêm melhor qualidade de vida para os usuários. O planejamento acústico de um ambiente é fundamental para que o mesmo atenda às especificações de conforto e funcionalidades para o tipo de uso. Todavia, na construção civil brasileira, esse planejamento é muitas vezes ignorado, fazendo com que o ambiente não proporcione a qualidade acústica desejada. Este estudo promove a reflexão sobre o comportamento acústico de uma sala de aula para música, e através de um cálculo do tempo de reverberação de Sabine e do tempo de reverberação de Eyring, e adentra na discussão da importância dos tratamentos acústicos para a adequação do T60, por meio de duas etapas de cálculo, a primeira sem tratamento acústico e a segunda com a absorção sonora adicional para controle do tempo de reverberação.

Palavras-chave: Acústica, Desempenho acústico, Engenharia civil, qualidade ambiental

Modalidade de Participação: Pós-Graduação

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DE SALA POR TEMPO DE REVERBERAÇÃO DE SABINE E EYRING

[1] Aluno de pós-graduação. camilatacianerossi@gmail.com. Autor principal

[2] Mestrando em Engenharia Civil. creativearquiteto@gmail.com. Co-autor

[3] Mestrando em Engenharia Civil. e.henrique@yahoo.com.br. Co-autor

[4] Doutoranda em Engenharia Civil. gabrielameller0@gmail.com. Co-autor

[5] Graduando em Engenharia Civil. jaotochetto@gmail.com. Co-autor

[6] Docente. joaquimpizzutti@hotmail.com. Orientador

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ACÚSTICO DE SALA POR TEMPO DE REVERBERAÇÃO DE SABINE E EYRING

1 INTRODUÇÃO

O planejamento acústico de um ambiente é fundamental para que o mesmo atenda às especificações de conforto e funcionalidades para o tipo de uso. Todavia, na construção civil brasileira, esse planejamento é muitas vezes ignorado, fazendo com que o ambiente não proporcione a qualidade acústica desejada. O cenário brasileiro começou a ser modificado a partir da publicação da NBR 15.575, Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), que determina as condições mínimas de desempenho de uma edificação em relação a vários aspectos, entre eles o acústico, atuando em prol da qualidade das edificações do Brasil.

O desempenho acústico não é classificado apenas em função da interação dos ruídos externos junto ao ambiente, sejam eles de impacto ou aéreos, mas também da interação com os ruídos produzidos dentro do próprio ambiente. A propagação do som no interior de uma edificação depende da dimensão das superfícies que a delimitam e dos materiais de sua composição, de modo que o tipo e a quantidade de materiais influenciam na taxa de absorção da energia sonora (BRANDÃO, 2016). Assim, o tempo de reverberação é um importante fator quando se trata de qualidade de um ambiente, pois seu valor pode favorecer ou prejudicar as atividades realizadas no recinto. O fenômeno de reverberação se dá, portanto, pelo tempo necessário para que o nível de pressão sonora decresça 60 dB após a interrupção da fonte sonora, conforme citam as ISO 3382-2 (2008) e 16283, partes 1 e 2 (ISO, 2014; ISO, 2015).

Diante do exposto, tem-se o objetivo de avaliar o desempenho acústico por meio do tempo de reverberação de uma sala de aula através das equações de Sabine e Eyring, dividida em duas etapas: primeiramente sem tratamentos acústicos e segundamente com o uso de absorção sonora, com intuito de atingir o tempo de reverberação ideal para o compartimento institucional estudado. Ressalta-se, que o ambiente de estudo deve possuir o tempo de reverberação adequado para as atividades de ensino, pois os ruídos podem causar dificuldade de assimilação do conteúdo, esforço demasiado para concentração e ininteligibilidade da fala, influenciando tanto alunos quanto professores. Portanto, esta tipologia de estudo é de extrema importância para que seja possível criar um projeto acústico de qualidade com materiais apropriados para a construção do ambiente.

2 METODOLOGIA

O objeto de estudo é uma sala de aula, situada no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, na cidade de Santa Maria/RS. Para tanto, foram realizadas as seguintes etapas: (I) referencial teórico sobre o tema, (II) levantamento arquitetônico, (III) definição do tempo de reverberação ideal em função do volume da sala, (IV) cálculo do tempo de reverberação sem tratamentos acústicos, (V) cálculo do tempo de reverberação com tratamentos acústicos, (VI) discussão dos resultados, (VII) conclusão.

Para a análise sem tratamento acústico, foi considerada apenas as paredes, piso, teto, portas, janelas e cadeiras. Já para a segunda etapa, foi levado em conta a absorção sonora adicional que a sala necessitará. As análises foram realizadas com as fórmulas de Sabine (Eq. 1) e Eyring (Eq. 2).

$$T_{60S} = \frac{0{,}161 \times V}{\sum(\alpha_i \times S_i)} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Onde:
V = volume [m³]
$\propto_i$ = coeficiente de absorção do material [-]
S_i= área de absorção do material [m²]

$$T_{60S} = \frac{-0{,}161 \times V}{S \times \ln\left(1 - \left(\frac{\sum \propto_i \times S_i}{Si}\right)\right)} \quad \text{(Eq. 2)}$$

Onde:
V = volume [m³]
$\propto_i$ = coeficiente de absorção do material [-]
S = área total das superfícies do recinto [m²]
S_i= área de absorção do material [m²]

Para a determinação do tempo de reverberação, foram consideradas as dimensões da sala de L_x = 9,60 m (largura), comprimento de L_y = 6,50 m e altura L_z = 3,50 m, o que resulta em um volume de V = 218,40 m³. A partir destas dimensões, tem-se um tempo de reverberação razoável na banda de 1000 Hz de $T_{60obj}|_{1kHz}$ = 0,6 s, conforme apresentam as ANSI/ASA S12.60 (ANSI, 2010) e ANSI/ANA S12.60 (ANSI, 2009) que especificam que salas de aula com volume menor que 283 m³ devem ter tempo de reverberação menor que 0,6s nas bandas de frequências centrais 500 Hz, 1 KHz e 2 KHz.

Também, a sala possui uma porta e duas janelas em paredes opostas. Para a análise, foi considerada uma sala de aula padrão com 40 cadeiras estofadas. Os materiais usados na sala sem tratamento foram: piso de madeira (parquet) com área de 62,4 m², teto de reboco liso com 62,4 m², parede 1 com porta de madeira com área de porta de 2,85 m² e área de parede de reboco liso restante de 30,75 m², parede 2 e 3 de reboco liso com 22,75 m² cada, parede 4 de reboco liso com área de janela de vidro de 24,91 m² com parede de reboco liso de 8,69 m² e cadeiras estofadas com 0,50 m² cada.

Os coeficientes de absorção (α_s) foram utilizados nas bandas de oitava de 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz de acordo com os apresentados na NBR 12179 (ABNT, 1992).

3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Diante da metodologia apresentada, avaliou-se o desempenho acústico da sala sem nenhum tratamento, para isso, foram calculados os coeficientes de absorção médios e os tempos de reverberação de Sabine (T_{60S}) e Eyring (T_{60E}) da sala de aula para cada banda de oitava, sem considerar, ainda, a absorção do ar, obtém-se (*Quadro 1*):

Quadro 1 - Coeficiente de absorção médio e tempos de reverberação

Frequência [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente de absorção médio (α) [-]	0,07	0,06	0,06	0,05	0,06	0,08
$T_{60Sabine}$ [s]	1,92	2,15	2,22	2,66	2,32	1,74
$T_{60Eyring}$ [s]	1,85	2,09	2,15	2,59	2,25	1,67

Fonte: dos autores, 2018.

Ao incluir a absorção do ar para 20ºC e umidade relativa de 40%, tem-se a adição destes coeficientes nos tempos de reverberação, conforme apresenta o Quadro 2.

Quadro 2 - Tempos de reverberação considerando a absorção e umidade relativa do ar

Frequência [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{60Sabine}$ [s]	1,91	2,14	2,17	2,48	2,02	1,33
$T_{60Eyring}$ [s]	1,84	2,07	2,11	2,42	1,97	1,29

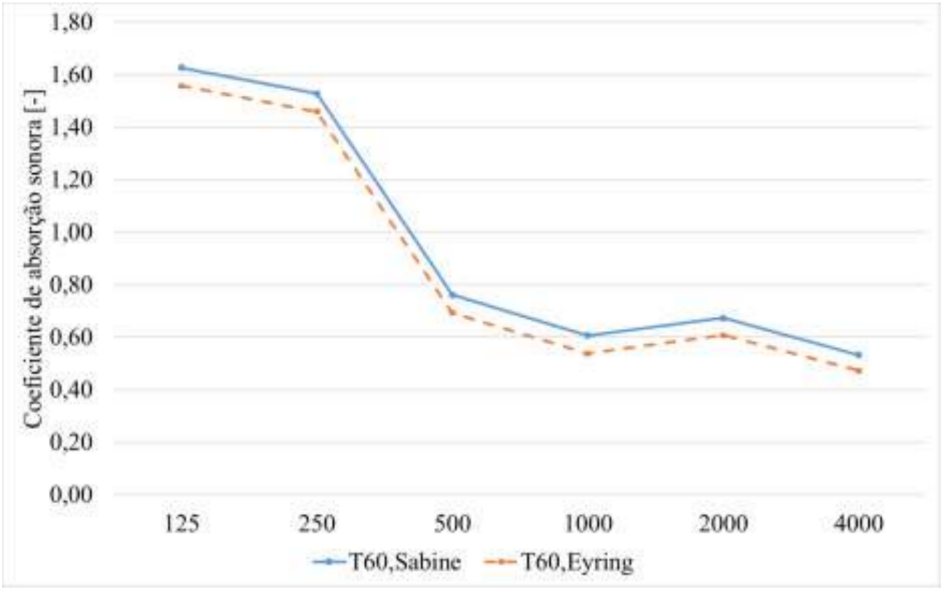
Fonte: dos autores, 2018.

Baseado nos Quadros 1 e 2, foi observado que o tempo de reverberação ficou acima do estipulado ($T_{60obj}|_{1kHz}$ = 0,6 s). Para tanto, primeiramente, testou-se o uso de apenas um material absorvente com alto valor de coeficiente de absorção na faixa de frequência central de 1 kHz, o qual foi a chapa leve de lã de madeira de 25 mm que apresenta coeficiente de absorção na frequência de 1 kHz de 0,75. Foi utilizado 15 m² deste material em cada parede (com exceção da parede 4 que apresentava janelas) os valores adotados dos coeficientes de absorção acústica foram retirados na NBR 12179 (ABNT, 1992). Com isso, gerou-se a Figura 1, na qual analisa-se que o objetivo de 0,6s para o tempo de reverberação de Sabine e Eyring foram atingidos, porém ainda o tempo de reverberação ficou demasiado para as faixas de frequências centrais de 250 e 125 Hz.

Quadro 3 - Tempos de reverberação empregando 60 m² de chapa leve de lã de madeira

Frequência [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{60Sabine}$ [s]	1,63	1,53	0,76	0,61	0,67	0,53
$T_{60Eyring}$ [s]	1,56	1,46	0,69	0,54	0,61	0,47

Figura 1- T_{60} calculado pelas fórmulas de Sabine e Eyring com 60 m² de chapa leve de lã de madeira



Fonte: dos autores, 2018.

Após, afim de homogeneizar o tempo de reverberação entre as frequências centrais, optou-se por mesclar diversos materiais que apresentassem diferentes valores de coeficientes de absorção acústica, são eles: para a Parede 1 utilizou-se 8 m² de chapa absorvente microporosa em chapa de base, espaçada da parede a 50 mm, sendo correspondente a aproximadamente 24% de sua área total. Nas Paredes 2 e 3 foi utilizado 5 m² deste material

(aproximadamente 22% de área de parede) e 8m² (35% de área de parede) de madeira compensada de 3mm, a 50 m da parede com espaço preenchido com lã mineral. Para o teto, foi utilizada madeira compensada de 3mm, a 50 m da parede com espaço preenchido com lã mineral em 45 m² de sua área total (72%). Os valores adotados dos coeficientes de absorção acústica foram retirados na NBR 12179 (ABNT, 1992).

Com os materiais aplicados, foram encontrados os seguintes valores de tempo de reverberação (Quadro 4).

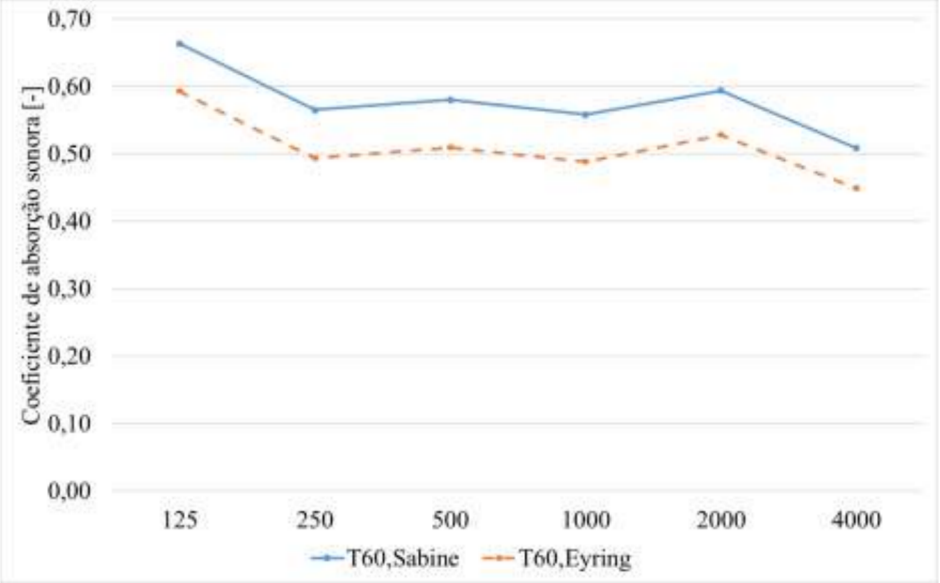
Denota-se que o valor delimitado de $T_{60obj}|_{1kHz} = 0,6$ s foi atingido, assim como para as bandas de 500 Hz e 2 KHz ($T_{60obj}|_{500Hz} = 0,6$ s e $T_{60obj}|_{2kHz} = 0,6$ s). Quanto à homogeneização da curva, dentro dos materiais disponível, o objetivo foi cumprido, conforme apresenta a Figura 2.

Quadro 4 - Coeficiente de absorção médio e tempos de reverberação

Frequência [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente de absorção médio (α) [-]	0,21	0,24	0,23	0,24	0,22	0,24
$T_{60Sabine}$ [s]	0,66	0,57	0,58	0,56	0,59	0,51
$T_{60Eyring}$ [s]	0,59	0,49	0,51	0,49	0,53	0,45

Fonte: dos autores, 2018.

Figura 2- T_{60} calculado pelas fórmulas de Sabine e Eyring com materiais com diferentes coeficientes de absorção acústica



Fonte: dos autores, 2018.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da análise realizada, denotou-se a importância de avaliar os materiais as serem aplicados e também suas quantidades, pois as suas características e proporções influenciam diretamente nos resultados.

Denotou-se também que não basta que os tempos de reverberação atinjam os resultados estimados, deve-se também analisar o comportamento das curvas nas frequências centrais, pois se os materiais não forem quantificados a fim de se garantir uma curva dos tempos de reverberação em função da frequência homogeneizados, pode haver muita absorção em altas frequências e baixa absorção em baixas frequências (ou vice-versa), podendo acarretar em um

ambiente com pouca inteligibilidade de fala e, consequentemente, não atingido o objetivo geral de melhorar a qualidade acústica do ambiente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 12179:** Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.

___. **NBR 15.575-3:** Edificações – Desempenho. Parte 3: Requisitos para sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

Acoustical Society of America. ASA. ANSI S12.60-2009: Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools, Part 2: Relocatable classroom factors. New York, 2009.

_. ANSI S12.60-2010: Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools, Part 1: permanent schools. New York, 2010.
BRANDÃO, Eric. **Acústica de salas:** projeto e modelagem. São Paulo: Blücher, 2016. 654 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO. **ISO 3382-2:** Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. Geneva, 2008.

___. **ISO 16283-1:** Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Geneva, 2014.

___. **ISO 16283-2:** Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation. Geneva, 2015.