ESTRATÉGIAS DE PROJETO DE ACÚSTICA ARQUITETÔNICA: ANÁLISE ESPACIAL E DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Bianca da Cunha Garcez (1); Milena Martins de Almeida (2); Ana Lívia Farias Dib (3); Gabriela Meller (4); Gihad Mohamad (5); Willian Magalhães de Lourenço (6);
(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, bianca.garcez@acad.ufsm.br, UFSM/CS, Rodovia Taufik Germano, 3013, Cachoeira do Sul/RS, (51) 99389-9500.
(2) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, arq.milena.m.a@gmail.com, UFSM/CS, Rodovia Taufik Germano, 3013, Cachoeira do Sul/RS, (51) 99389-9500.
(3) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, liviafdib9@gmail.com, UFSM/CS, Rodovia Taufik Germano, 3013, Cachoeira do Sul/RS, (51) 99389-9500.
(4) Doutoranda em Engenharia Civil, gabrielameller0@gmail.com, UFSM/SM, Av. Roraima, 1000, Santa Maria/RS, (55) 3220-8000
(5) Professor Associado, gihad@ufsm.br, UFSM/SM, Av. Roraima, 1000, Santa Maria/RS, (55) 3220-8000
(6) Professor Assistente em Arquitetura e Urbanismo, willian.lourenco@ufsm.br, UFSM/CS, Rodovia Taufik Germano, 3013, Cachoeira do Sul/RS, (51) 99389-9500.

RESUMO
A fim de se obter um bom isolamento sonoro e, consequentemente, conforto acústico para uma edificação de uso cultural, é indispensável analisar os materiais empregados em um projeto e, inclusive, as estratégias de projetos a serem adotadas. Sendo assim, esse artigo tem o objetivo de apresentar o estudo de um Centro Cultural de Arte, visando os parâmetros que devem ser analisados ao se realizar um projeto arquitetônico pautado em estratégias de conforto acústico e cálculos de tempo de reverberação. Para isso, partiu-se da investigação dos materiais utilizados internamente aos ambientes, foi considerado os elementos do piso, do forro, das portas estofadas e poltronas, além dos planos alocados sob as paredes. Foram estudadas estratégias de projeto geradas a partir de estudos de conforto e diminuição dos níveis de ruído sonoro interno por meio da absorção. Por meio dos resultados foi possível atingir os níveis ideais entre 1,5 e 0,75 segundos no tempo de reverberação nas frequências 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz. As estratégias de isolamento foram aplicadas internamente com paredes duplas no auditório, uso de antecâmara e na distribuição do layout mantendo ao redor do auditório somente ambientes de menor ruído, como os sanitários, salas de equipamentos e circulação horizontal. Além disso, foram adotadas estratégias arquitetônicas e definições de materiais que ratificam a importância dessas soluções em fase de projeto com o intuito de se alcançar qualidade de conforto dos usuários.

Palavras-chave: Projeto arquitetônico, acústica de edificações, conforto acústico.

ABSTRACT
To obtain a good sound insulation and, consequently, acoustic comfort for a building of cultural use, it is essential to analyze the materials used in a project and even the design strategies to be adopted. Thus, this article aims to present the study of a Cultural Arts Center, aiming at the parameters that should be analyzed when designing an architectural project based on acoustic comfort strategies and reverberation time calculations. For this, we started by investigating the materials used internally in the spaces, the elements of the floor, ceiling, upholstered doors and armchairs were considered, in addition to the planes allocated under the walls. Design strategies generated from studies of comfort and reduction of sound noise levels through absorption were studied. The findings made it possible to reach the ideal levels between 1.5 and 0.75 seconds in reverberation time at the frequencies 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, and 4000 Hz. Isolation strategies were applied internally with double walls in the auditorium, use of an antechamber and in the distribution of the layout, keeping the less noisy environments around the auditorium, such as the restrooms, equipment rooms and horizontal circulation. Moreover, architectural strategies and definitions of materials

were adopted, which ratify the importance of these solutions in the project phase to achieve the quality of comfort for users.
Keywords: Architectural design, building acoustics, acoustic comfort.

1. INTRODUÇÃO

O estudo da acústica tem ganhado força ao longo dos anos, devido aos problemas recorrentes de poluição sonora nas cidades, esta, por sua vez, pode ser entendida como o excesso de ruído que pode afetar a saúde física e mental da população, influenciando seriamente sua qualidade de vida. Atualmente, a poluição sonora já é a segunda maior fonte de poluição mundial (WHO, 2011). É visto que para reduzir estes problemas e garantir uma qualidade acústica ideal na vida das pessoas soluções como isolamento acústico tem se tornado cada vez mais recorrente.

Tem-se conhecimento de que um dos primeiros estudos acústicos foi o desenvolvimento dos anfiteatros na Grécia e Roma Antiga, de acordo com Alves (2008), havia o cuidado "de construir o anfiteatro junto a colinas como objetivo de reduzir o ruído de fundo e permitir a transmissão direta do som, sem interferência das cabeças dos espectadores, como aconteceria se os assentos fossem na horizontal''. Logo, mesmo antes das estratégias para o melhoramento acústico se transformarem em métodos elaborados e tecnológicos, a preocupação com o som já era trabalhada para potencializar a acústica por meio de estratégias simples na implantação e no posicionamento das arquibancadas.

No Brasil, o conforto acústico foi alavancado com a criação de duas associações: a Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC) e a Associação Brasileira para a Qualidade Acústica (ProAcústica), que tem por objetivo impulsionar o desenvolvimento da Acústica no Brasil. A preocupação com a qualidade acústica no meio urbano é, por vezes, negligenciada ao se projetar dentro do ramo da arquitetura, não sendo adotada pelos profissionais da área, o que pode agravar tanto a poluição sonora no ambiente, quanto a não garantia de uma reverberação ideal em um ambiente, tornando-o desagradável. Segundo Costa (2019) "o fato da acústica ser pouco abordada na grade curricular acadêmica, somado ao progressivo investimento da indústria em materiais de revestimento que atendam às necessidades acústicas das edificações modernas, proporcionando um bom isolamento e qualidade acústica (..) se tornam gradativamente mais visados".

O foco do presente trabalho é o edifício Blackout, um Centro Cultural Artístico, que foi projetado para atender tanto às expectativas culturais quanto acústicas. O projeto apresenta um programa de necessidades constituído em galeria de arte, cafeteria e setor de apoio cuja estratégia de planejamento é o conforto acústico, pois como citado acima é diversas vezes negligenciado em situações de projeto arquitetônico e é imprescindível para o bom funcionamento de centros culturais. A sala de auditório possui capacidade para trezentas pessoas e seu uso ideal é voltado para apresentações de música erudita, acompanhados por ballet clássico. Para o conforto acústico foram consideradas as ações de absorção, de reflexão dos materiais no interior da edificação e de reverberação do som, além do isolamento aos ruídos aéreos.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo geral a elaboração de estratégias para condicionamento acústico de um projeto arquitetônico contemplando: geometria acústica e tempo de reverberação. Sendo empregado em uma edificação de auditório e seus elementos de apoio. Este trabalho visa relacionar as atividades executadas no ambiente, para melhoria da qualidade acústica interna procurando entender os aspectos relacionados ao uso dos materiais e das possibilidades de combinação como ferramentas para obtenção do tempo de reverberação em um projeto de arquitetura ainda não executado.

3. MÉTODO

Para a realização deste trabalho foram, inicialmente, escolhidas quais temáticas seriam abordadas no edifício voltada à acústica arquitetônica, sendo o desafio de criar um auditório térreo com um pavimento intermediário, o mezanino, que contemplasse as necessidades acústicas em relação a sensibilidade de ruído e o impacto sonoro do entorno do projeto. Já que em um auditório, local que necessita de isolamento acústico, a transmissão de sons externos pode atrapalhar as atividades internas, por isso, a passagem de ruído deve ser devidamente analisada de acordo com as necessidades do local.

Levou em consideração também, o isolamento das partições seguintes ao ponto central do projeto, o auditório. Desta forma, como diretrizes projetuais, foi escolhida a temática de um Centro Cultural de Arte, denominado "Blackout", no qual englobaria um auditório para apresentações de ballet, com músicas clássicas, suas áreas de apoio, uma área de exposições de arte e uma cafeteria.

Com o programa de necessidades composto por uma área de exposições, cafeteria, área administrativa, sanitários, foyer, bilheteria, chapelaria, auditório, antecâmaras e camarins foi projetado uma edificação como objeto de proposta de estudo da acústica interna. Tendo como parâmetro o zoneamento planejado para o Centro Cultural Artístico (Figura 1), foram usadas para classificação dos níveis sonoros e suas sensibilidades as áreas de maior permanência. As estratégias projetuais para auxiliar no melhor desempenho e conforto acústico foram variadas conforme a demanda de cada ambiente.

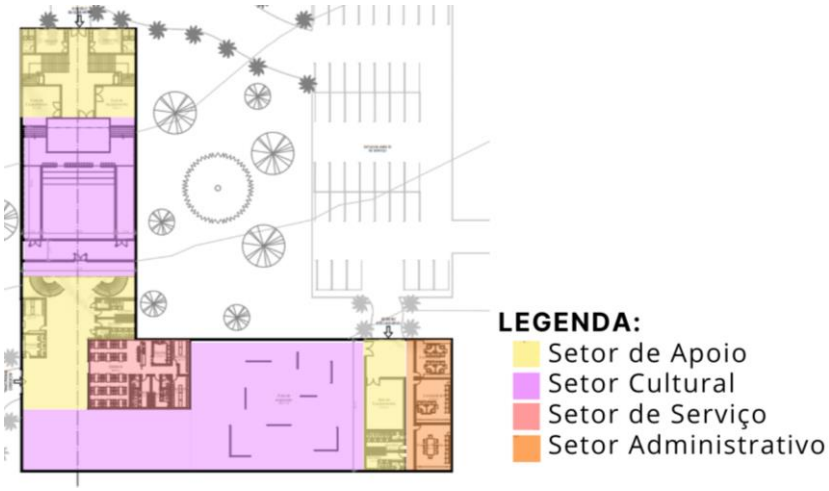


Figura 1 - Zoneamento no terreno (AUTORES, 2023).

De forma a determinar as necessidades acústicas de cada ambiente, para em seguida resolvê-las, foi realizado o mapeamento sonoro (Figura 2) que as classifica de acordo com o "impacto sonoro" e a "sensibilidade ao ruído", os ambientes que compõem o projeto arquitetônico, baseado no nível de incomodidade de usuários. (SANTOS et al., 2019; SANTOS et al., 2022).

NÍVEIS DE SENSIBILIDADE E IMPACTO ACÚSTICO POR EIXO			
Legenda	Muito Alto		
	Alto		
	Moderado		
	Baixo		
	Muito Baixo		
	Sensibilidade ao Ruído	**Impacto Sonoro**	**Tipo de ruído predominante**
Cafeteria			Aéreo
Camarins			Aéreo
Auditório			Aéreo
Antecâmara			Aéreo
Galeria de Arte			Aéreo
Setor Administrativo			Aéreo

Figura 2 - Mapeamento dos níveis de sensibilidade, impacto acústico e tipo de ruído predominante (SANTOS *et al.,* 2019).

O T60 foi o parâmetro objetivo utilizado para projetar, inicialmente, a qualidade acústica do auditório. Como primeira etapa, após a etapa de concepção projetual, foi calculado o T60 da sala em questão. Por meio da NBR 12179 (ABNT, 1992), identificou-se o T60 ideal para sala em estudo, de acordo com a Figura 3.

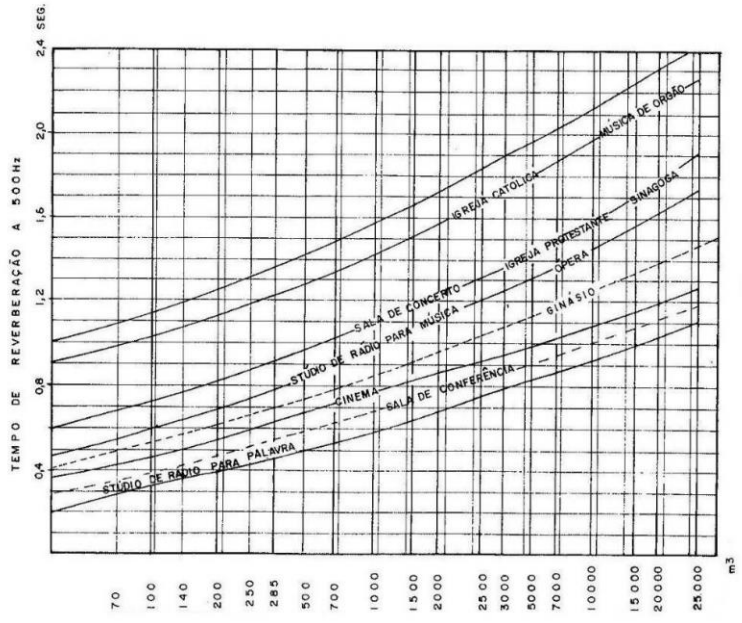


Figura 3 - Gráfico de tempo de reverberação ideal (NBR 12179) (ABNT, 1992).

Para a segunda etapa, por meio de um levantamento de materiais do auditório, e das respectivas áreas que cada um ocupa, foi utilizada uma planilha (Figuras 4 a 6), no qual se empregaram os coeficientes de absorção (α) de cada material multiplicados por sua área de superfície (S). Em conjunto com a planilha, a tabela de coeficientes de absorção sonora (CARVALHO, 2010.; BISTAFA, 2018.) com uma grande quantidade de materiais e sistemas com os seus coeficientes de absorção sonora (α), foi possível escolher o melhor material para atingir o tempo de reverberação ideal em todas as frequências, o que é uma importante apropriação acústica em ambientes fechados.

Para o cálculo e correção do tempo de reverberação (T60), foi utilizado uma planilha que auxilia na escolha da materialidade dos planos superficiais do auditório, por meio dos valores de coeficientes de absorção para todas as bandas de frequências em Hertz, em seguida determina-se os valores ideais do T60. Sendo o mesmo se baseando na teoria que a partir de um tempo, contado em segundos, necessários para que um ruído caia 60 dB logo após a fonte sonora ser interrompida. Deve-se conhecer o volume e o somatório das áreas dos materiais já que em ambientes com metragem volumétrica grandes, são propícios a maiores tempos de reverberação, por isso, insere-se materiais absorventes de maiores dimensões para a diminuição desse tempo de reverberação, consequentemente deixando o ambiente com confortável acusticamente.

Na etapa 3 se objetivou atingir o T60 ideal referido pela NBR 12179 (ABNT, 2017), por meio da substituição e/ou aplicação de novos materiais compositivos, corroborando na redução do T60 inicial, originando então, o T60 corrigido para o projeto. Estabelece-se, então, um limite de não ultrapassar mais ou menos 10% do T60 ideal.

Para a segunda etapa foi calculada a área de absorção sonora total para as frequências (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz), utilizando a fórmula:

$A = \Sigma (\alpha \times S)$

Onde:
Σ Somatório das sala;
A é a área de absorção sonora equivalente da sala;
α é o coeficiente de absorção sonora das *n* superfícies da sala;
S é a área das *n* superfícies da sala.
Que deriva da equação de Sabine, apresentada a seguir. Em seguida calculou-se o tempo de reverberação da situação em que se encontrava o auditório, com a equação abaixo:

$TR = 0{,}16 \times V / A$ (Equação de Sabine)

Onde:
TR é o tempo de reverberação [s];
V é o volume do local [m³];

A é a área de absorção total.

PLANILHA PARA CÁLCULO E CORREÇÃO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO									
1ª ETAPA: Cálculo do TR atual									
INSTRUÇÕES:	**a)** Levantamento dos materiais da sala e das respectivas áreas superficiais ou unidades (para cadeiras, pessoas); **b)** Identificação dos coeficientes de absorção de cada material (de acordo com as tabelas da norma ou apostila) e cálculo da absorção para cada freq**uência (α x S)** **c)** Calcular a área de absorção sonora total para cada freqü**ências A = Σ (α x S)** **d)** Calcular o tempo de reverberação da situação atual, para cada freqüência, de acordo com a equação: **TR = 0,16 x V / A**, onde: V = volume do local em m³ e A = área de absorção total								
			α x S (Absorção para cada frequência)						
COMPONENTES	**MATERIAIS EXISTENTES**	**S - Área (m²)**	**125 Hz**	**250 Hz**	**500 Hz**	**1000 Hz**	**2000 Hz**	**4000 Hz**	
Piso	Carpete simple 6mm	623,00	0,12		0,10		0,10		
			74,76	0,00	62,30	0,00	62,30	0,00	
Teto	Telha fibocimento	623,00	0,01		0,01	0,01	0,01		
			6,23	0,00	7,48	7,48	7,48	0,00	
Paredes	Madeira	358,60	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	
			28,69	25,10	21,52	21,52	21,52	17,93	
Esquadrias		0,00							
			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Portas	Estofada	3,72			0,30		0,85	0,80	
					1,12		3,16	2,98	
Cadeiras ocupadas		207,00	0,37	0,48	0,68	0,73	0,77	0,74	
			76,59	99,36	140,76	151,11	159,39	153,18	
Cadeiras vazias (1/3)		103,00	0,13	0,33	0,59	0,58	0,61	0,62	
			13,39	33,99	60,77	59,74	62,83	63,86	
Outro (1)		1,00	0,35	0,75	0,65	0,60	0,60	0,20	
			0,35	0,75	0,65	0,60	0,60	0,20	
Outro (2)									
			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Outro (3)									
			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Etc...									
			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
A = Σ (α x S)	(absorção total em cada frequência)		200,01	159,20	294,59	240,44	317,27	238,15	
TR = 0,16 x V / A	(tempo de reverberação atual)		2,99	3,76	2,03	2,49	1,89	2,51	

VOLUME (m²)	3738

Figura 4 - Etapa 1 da planilha de cálculo do tempo de reverberação (AUTORES, 2023).

O TR ideal é baseado nos valores da Figura 3, estipulados pela NBR 12179 (ABNT, 1992), que nesse caso ficou definido por 0,98. Para a obtenção dos resultados do TR ideal na etapa 2 da planilha de cálculo de tempo de reverberação (Figura 5), foi gerado a partir da inserção dos materiais e seus respectivos coeficientes de absorção acústica como o carpete simple de 6mm no piso, telha fibrocimento no teto, paredes de madeira e portas estofadas em cada frequência no auditório, que por meio da equação de Sabine obteve-se o tempo de reverberação atual nas frequências em análise.

2ª ETAPA: Definição do TR ideal							
INSTRUÇÕES:	**a)** Definir o TR ideal para 500 Hz (gráfico da NBR 12179) e para as demais frequências (utilizando os fatores de correção)						
	FREQUÊNCIAS	**125 Hz**	**250 Hz**	**500 Hz**	**1000 Hz**	**2000 Hz**	**4000 Hz**
	FATOR DE CORREÇÃO	**1,5**	**1,2**	**1**	**1**	**1**	**1**
TR IDEAL		1,47	1,18	0,98	0,98	0,98	0,98

Figura 5 - Etapa 2 da planilha de cálculo do tempo de reverberação (AUTORES, 2023).

Para a etapa 3 componentes de piso, teto e paredes foram alterados e inseridos outros materiais. Nesse caso, foram considerados ⅔ do auditório com cadeiras ocupadas, enquanto ⅓ não estaria, representando a situação cotidiana de uso, com um valor intermédio, nem completamente cheia, nem parcialmente cheia.

3ª ETAPA: Proposta de correção e cálculo do TR corrigido								
INSTRUÇÕES:	**a)** Realizar a proposta de correção, com a substituição de materiais e/ou a adição de outros materiais absorventes acústicos **b)** Calcular novamente o TR de forma a aproximar do ideal (em torno de 10% para mais ou para menos, principalmente para as médias e altas frequências, de 500 Hz a 4000 Hz)							
COMPONENTES	**MATERIAIS EXISTENTES**	**S - Área (m²) ou Unidades**	**α x S (Absorção para cada frequência)**					
			125 Hz	**250 Hz**	**500 Hz**	**1000 Hz**	**2000 Hz**	**4000 Hz**
Piso	Carpete fino forrado com feltro fino sobre tábua corrida	623,00	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30
			124,60	124,60	186,90	186,90	186,90	186,90
Teto	Forrotex acústico safira	580,00	0,19	0,25	0,21	0,23	0,25	0,48
			110,20	145,00	121,80	133,40	145,00	278,40
Paredes	Reboco de vermiculite acústico 30 mm	105,51	0,23	0,30	0,37	0,42	0,48	0,46
			24,27	31,65	39,04	44,31	50,64	48,53
Esquadrias								
			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Portas	Estofada	3,72	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
			1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
Cadeiras ocupadas (2/3)	Público sentado em poltronas de teatro com encosto estofado	207,00	0,33	0,33	0,38	0,46	0,39	0,39
			68,31	67,28	78,66	94,19	80,73	80,73
Cadeiras vazias (1/3)	Poltronas com assento móvel de madeira compensada revestida de couro	103,00	0,09	0,13	0,15	0,15	0,11	0,07
			9,27	13,39	15,45	15,45	11,33	7,21
Material absorvente (1)	Painéis de madeira	358,00	0,25	0,34	0,18	0,10	0,10	0,06
			89,50	121,72	64,44	35,80	35,80	21,48
Material absorvente (2)	Chapa de cimento amianto 4mm, furos na proporção de 16% de 5mm	55,35	0,20	0,68	0,91	0,82	0,82	0,76
			11,07	37,64	50,37	45,39	45,39	42,07
Material absorvente (3)			0,18	0,18	0,38	0,72	0,75	0,78
			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Entre outros	Réguas de madeira encerada com espaço livre por baixo	10,00	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
			4,00	3,00	2,00	1,70	1,50	1,00
A = Σ (α x S)	(absorção total em cada frequência)		442,33	545,39	559,77	558,25	558,41	667,44
TR = 0,16 x V / A	(tempo de reverberação corrigido)		1,35	1,10	1,07	1,07	1,07	0,90

Figura 6 - Etapa 3 da planilha de cálculo do tempo de reverberação (AUTORES, 2023).

Escolhendo poucos materiais em um volume de 3738 m³, o tempo de reverberação atual (T_{60}) se resultou em números muito elevados (Figura 5). A partir disso, e do gráfico (Figura 3), se definiu o T_{60} ideal, de acordo com o uso do auditório a 500 Hz. Por último, foi inserido ou substituído alguns materiais da tabela de Coeficientes de absorção acústica (CARVALHO, 2006), gerando resultados a partir da equação de Sabine, e com o cuidado da absorção para cada frequência foi realizada a proposta de correção e cálculo do T_{60} corrigido, para se aproximar do ideal com valor de 0,98, em torno de 10% para mais ou para menos em todas as bandas de frequência indicados pela NBR 12179 (ABNT, 1992).

4. RESULTADOS

Os níveis de pressão sonora que as ruas adjacentes (Figura 7) emitem são de 72 e 56 dB (decibels), esses níveis são simulados semelhantes a uma rua de trânsito intenso. Dessa forma, pôde-se encontrar soluções projetuais para minimizar o impacto sonoro no interior do auditório, pois é a área com maior sensibilidade. A partir dos eixos culturais e das áreas de apoio, para o funcionamento do centro cultural e seguindo as exigências acústicas, se gerou uma proposta, em fluxograma, baseada na setorização (Figura 8).

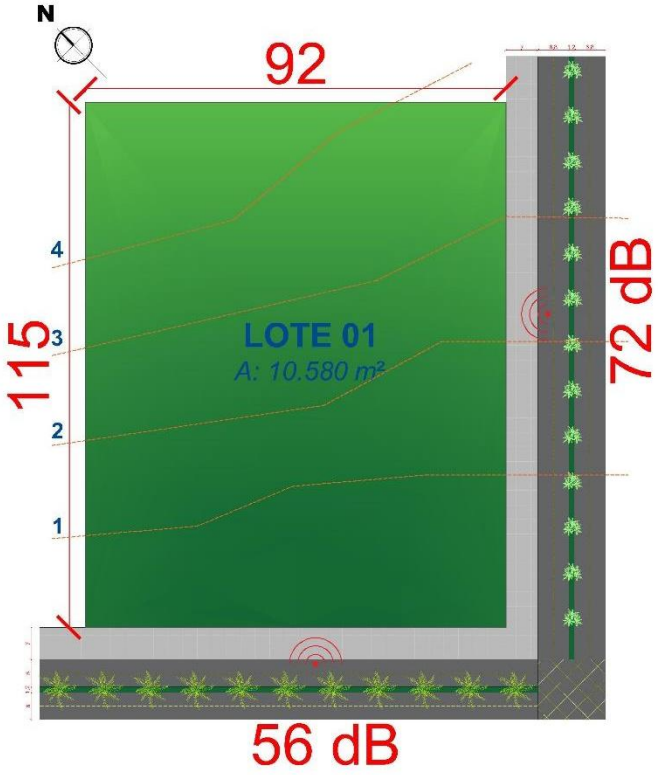


Figura 7 - Terreno de implantação com as vias (AUTORES, 2023).

Definiu-se que, haveria dois pavimentos, o térreo e o mezanino, que contemplasse o programa de necessidades de forma a garantir que as áreas mais sensíveis fossem favorecidas, utilizando de outros ambientes tolerantes a maiores níveis de ruídos e da vegetação do entorno, que minimizou o problema favorecendo o afastamento do edifício, agindo também com os ruídos externos das vias principais (Figura 7).

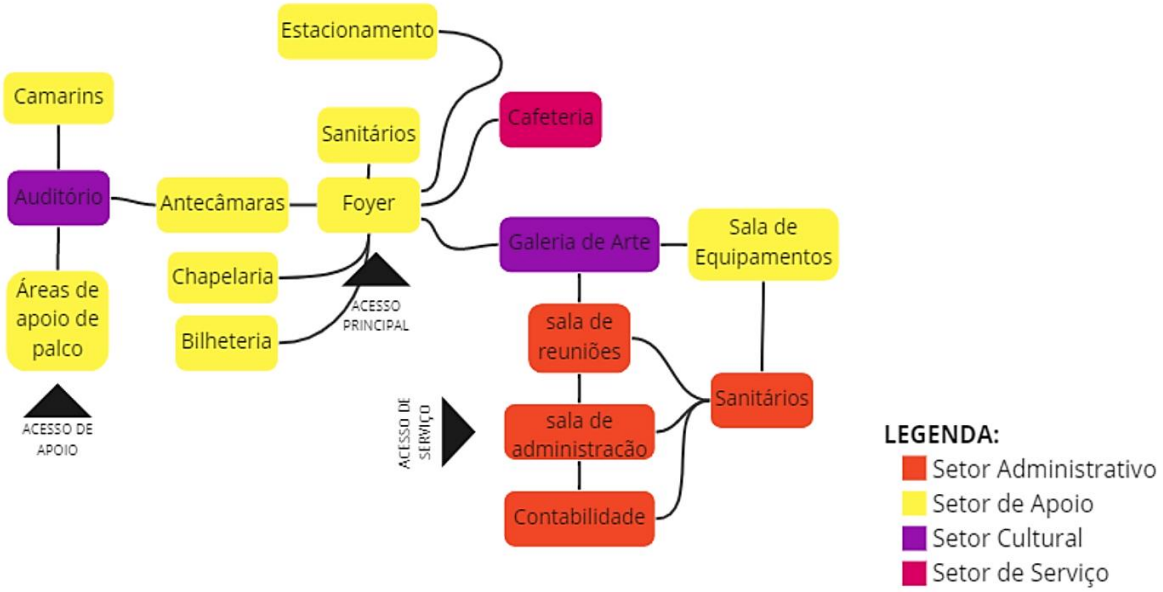


Figura 8 - Fluxograma com setorização dos ambientes (AUTORES, 2023).

Ao se pensar sobre o ruído dos setores administrativo, de apoio, cultural e de serviço, foi determinado que os ambientes que fazem parte do setor cultural não estariam concentrados em um único local. Assim, o setor de apoio, seria a parte predominante no centro cultural, no qual teria a função de separar ou outros setores, servindo de proteção contra os ruídos, tanto externos, das vias principais, quanto internos (proteção das áreas sensíveis ou de interesse). A preocupação com o ruído de impacto entre sistemas de piso seria mínima, visto que não há segundo pavimento, apenas a área de mezanino, que abrange parte da plateia e sala técnica.

A partir disso, se focou em realizar a disposição do edifício, e consequentemente, dos ambientes no terreno, como uma tentativa de atenuar os ruídos de veículos nas ruas adjacentes. A implantação do edifício

acontece o mais distante possível das vias de acesso, sendo proposto um partido com formato em ‘’L’, o qual uma de suas laterais ficasse paralela a uma dessas ruas, funcionando como uma barreira para o som, conforme Figura 9.

Outra estratégia adotada foi a de alocar os ambientes do setor de apoio ao lado do auditório. Por serem espaços sem muito ruído e aglomeração, não interferem no devido funcionamento do projeto e ajudam a isolar o espaço. Sendo assim, as atividades propostas seriam executadas em diferentes áreas considerando os fatores de nível de sensibilidade e impacto em cada região, realizando um zoneamento no interior para explorar melhor a questão acústica.

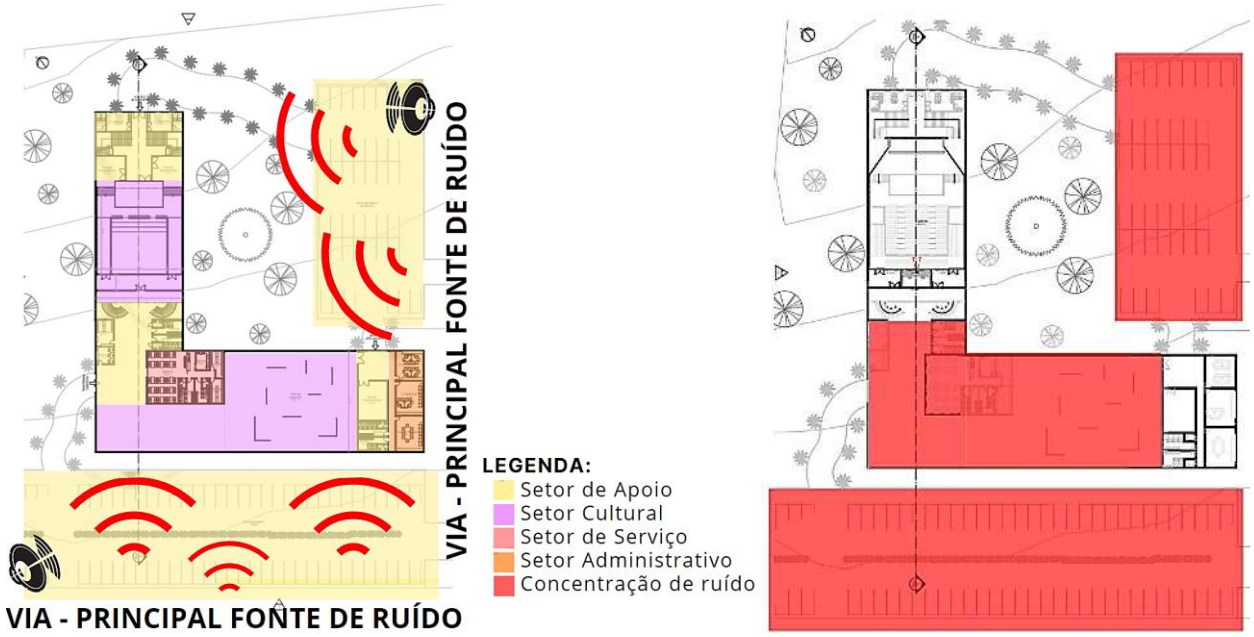


Figura 9 - Zoneamento no terreno (AUTORES, 2023).

Procurou-se, também, utilizar a disposição do ambiente de forma funcional, focando na facilidade de acesso ao público, com uma circulação lógica e eficiente, buscando o conforto da plateia. Assim como, a disposição da sala técnica, integrada cuidadosamente ao mezanino e acima da plateia, para que a audiência fosse privilegiada nas apresentações e não no equipamento do auditório.

A proposta do auditório se deu pelo formato de caixa de sapato, por ser uma forma desfavorável (ocorrência de flutter echo (BRANDÃO, 2016), por exemplo) para a distribuição sonora, faz-se necessário a utilização de elementos e tecnologias acústicas para oferecer uma qualidade sonora. Assim, a organização e a disposição dos elementos funcionam como refletores acústicos, causando uma quebra de paralelismo (Figura 10), para evitar a formação de ondas estacionárias, além disso, atribuiu-se absorção no fundo da plateia e reflexão próximo ao palco.

Logo acima do palco, foram utilizados refletores de teto (Figura 11), que foram integrados na arquitetura, dispondo sua funcionalidade de controlar a direcionalidade do som para a plateia. Nas paredes laterais e frontal do palco foram inseridos painéis de difusão sonora, em que foram projetados para realçar a riqueza sonora e criar uma sensação de amplitude, o que é fundamental para a música clássica do local.

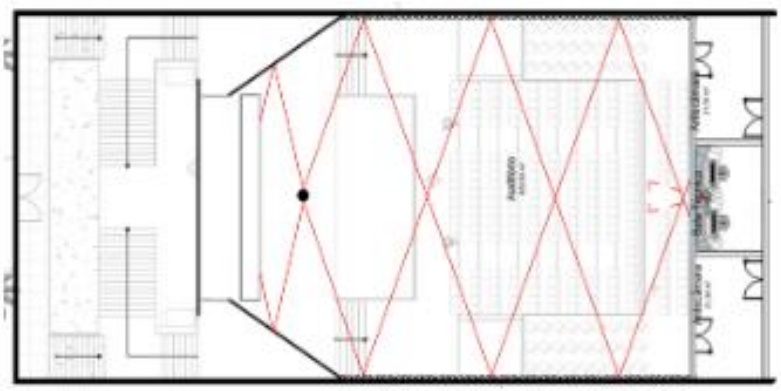


Figura 10 - Raios de reflexão da onda sonora (AUTORES, 2023).

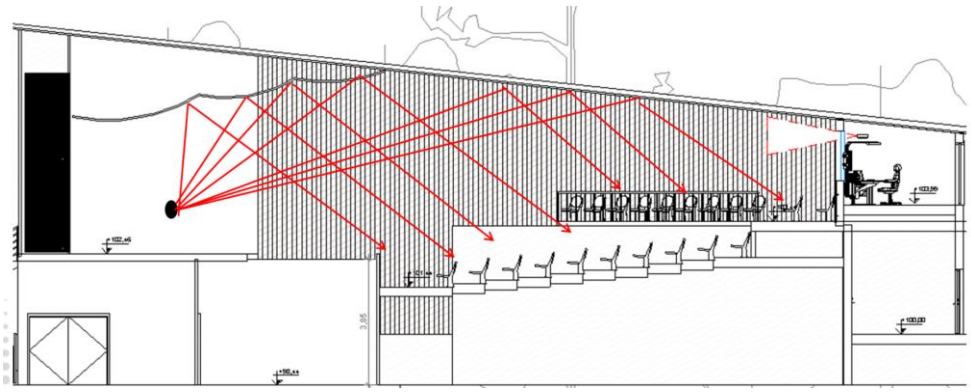


Figura 11 - Elementos como difusores acústicos (AUTORES, 2023).



Figura 12 - Elementos como difusores acústicos (AUTORES, 2023).

Internamente ao auditório, os painéis que revestem as paredes controlam a formação de ondas estacionárias entre as paredes. Sendo assim, isto foi projetado para funcionar como um refletor acústico e, também, auxiliar no decaimento do T_{60}.

Propõe-se a utilização do uso de um forro inclinado e a inserção de difusores no teto, que refletem o som para a plateia, paredes duplas com material absorvente (isolamento sonoro entre ambientes com R_W de 51 dB, Figura 12). Foi utilizado um painel de madeira (Figura 13), embutidos nas paredes laterais, com uma intercalação irregular do plano com diferentes massas e múltiplos afastamentos, para controle do tempo de reverberação com coeficientes de absorção por banda de frequência atribuídos anteriormente (CARVALHO, 2006). E materiais absorventes do tipo painel (Figura 14), que influenciam no tempo de reverberação e outros itens que cumprem absorção sonora como o piso com carpete, as portas estofadas e poltronas revestidas e estofadas.

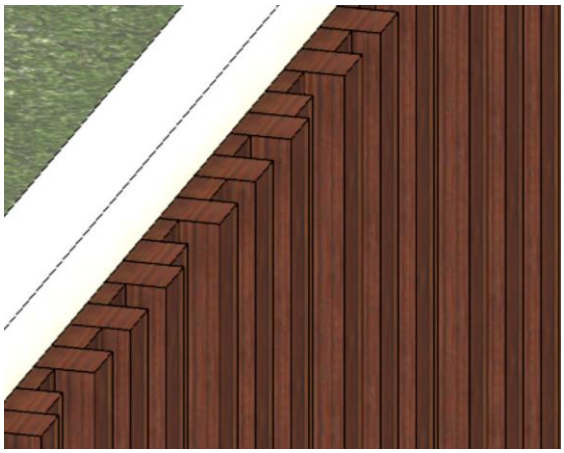


Figura 13 - Controlador de tempo de reverberação, tipo painel (AUTORES, 2023).



Figura 14 - Painel absorvente de tempo de reverberação (AUTORES, 2023).

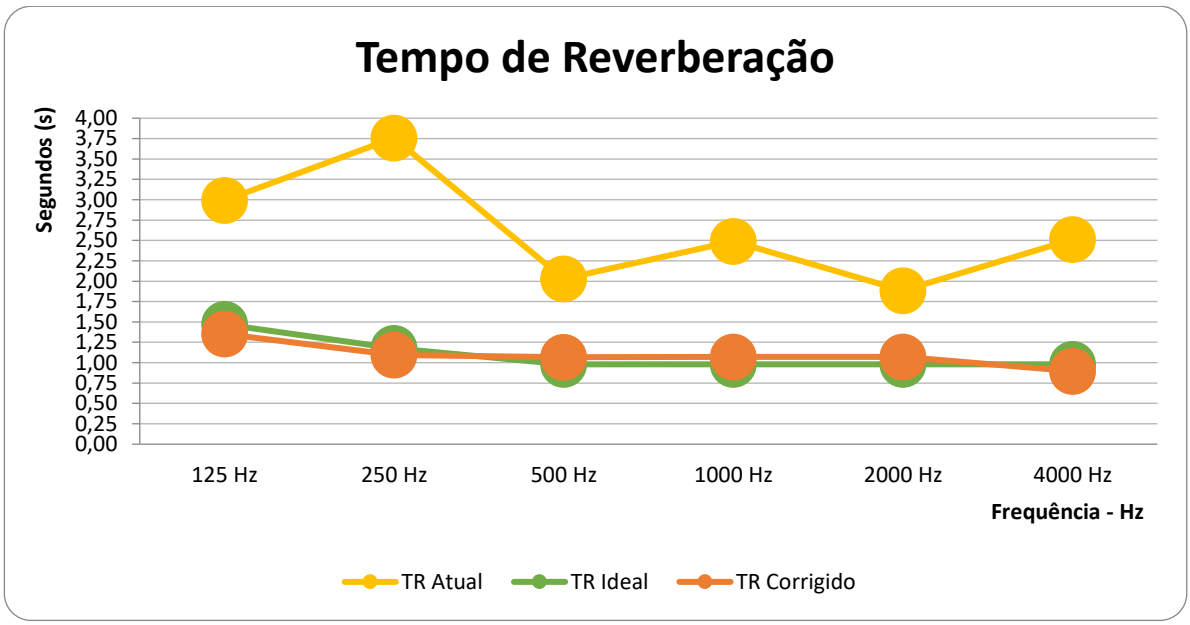


Figura 15 – T_R corrigido (AUTORES, 2023).

5. CONCLUSÕES

A questão de conforto ambiental é um dos principais problemas da atualidade, a falta de preocupação no que se refere a acústica em ambientes pode resultar em perda de qualidade de vida, pode prejudicar a inteligibilidade e tornar os ambientes improdutivos e impossibilitar permanência. Este assunto, se não for tratado instantaneamente, pode causar inúmeros problemas, incluindo a saúde e aspectos profissionais na vida das pessoas e de diversos seres vivos, em espaços onde o uso exige uma boa qualidade do som, como é o caso de auditórios, o alto nível de reverberação não permitiria a compreensão das palavras e além disso o espaço não conseguiria cumprir seu objetivo e provocaria desconforto aos usuários.

Partindo da acústica como princípio do desenvolvimento do projeto, no qual, tanto o edifício quanto os ambientes, foram alocados de forma pertinente para que levasse em consideração uma melhor adequação da exposição aos ruídos, e a interrelação dos ambientes internos baseados em funcionalidades e usos. Diante da identificação das áreas mais críticas e tolerantes, o zoneamento possibilitou uma melhor distribuição dos setores, e consequentemente, dos ambientes. Procurou-se beneficiar de estratégias, como a implementação de materiais que ajudassem acusticamente a diminuir o nível de ruído e de reverberação sonora, a fim de favorecer a sala de concertos dos espaços do edifício.

Por fim, com a utilização de uma tabela, em conjunto com os materiais utilizados no auditório, para calcular o tempo de reverberação ideal, se atingiu um limite mais adequado, que não extrapolasse 10%, nas frequências estudadas. Neste sentido, constatou-se que os projetos necessitam de um zoneamento e uma implantação apropriada, que aliados aos tratamentos acústicos das esquadrias, vedações, forro, piso e absorção dos planos, é possível promover aos espaços um tempo de reverberação ideal, sendo capazes assim de diminuir o nível de ruído e aumentar o conforto ambiental.

Também foi compreendido que, o formato de “caixa de sapato” dos auditórios pode funcionar, se forem tratados com elementos acústicos corretos, pouco importando a forma interna. Sendo assim, a acústica como premissa de projeto deveria ser utilizada em todos os edifícios, para poder proporcionar aos usuários a eficiência e o conforto ambiental adequado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALVES, E. V. **Estudo das Condições Acústicas de Auditórios.** Dissertação de Mestrado do Programa de Mestrado em Engenharia Acústica. Aveiro, 2008.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2018. 436 p.

BRANDÃO, E. **Acústica de Salas: Projeto e Modelagem**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2016. 654 p.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica.** 2. ed. Brasília: Thesaurus, 2010. 180 p.

COSTA, D. T. P. da. **Proposta de adequação acústica em auditório de uso múltiplo**. 2019. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, UniCEUB - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2019.

PRÓ ACÚSTICA. **Quem somos, missão, visão e valores**. 2023. Disponível em: https://www.proacustica.org.br/proacustica/quem-somos/. Acesso em: 23 fev. 2023.

SANTOS, E. S. O.; MELLER, G.; GONCALVES, E. A. C. D.; LOURENÇO, W. M.; PEREIRA, J. M. F.; FERREIRA, L. R. Avaliação acústica do entorno e implantação de um projeto arquitetônico de um centro de artes. In: FIA 2022 - XII Congresso Iberoamericano de Acústica, 2022, Florianópolis**. Anais...** FIA 2022, p. 1-8.

SANTOS, E. S. O.; LOURENÇO, W. M.; FERREIRA, L. R.; MELO, V. S. G.; GONCALVES, E. A. C. D. Projeto arquitetônico com foco no conforto acústico: estratégias empregadas na concepção de um centro de artes. **In: 8º Fórum Internacional ECOINOVAR**, 2019, Santa Maria. Florianópolis. 8º Fórum Internacional Ecoinovar, 2019.

WHO – World Health Organization. **Burden of Disease from Environmental** Noise. [S.l: s.n.]., 2011.