

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO AUDITIVA EM SALAS DE CONCERTOS

Marcela Estorino Bovo (IC) e Carolina de Rezende Maciel (Orientador)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

Cada indivíduo tem uma percepção distinta sobre um ambiente de acordo com suas emoções, muito do que o indivíduo percebe tem relação com a percepção sonora. Este trabalho consiste em um estudo sobre a avaliação da percepção acústica em salas de concerto, com o objetivo de analisar a percepção que diferentes pessoas possuem ao ouvir faixas musicais, inseridas através de um software, em diferentes salas de concerto, apresentando tempos de reverberação que não são ideais. Dessa forma, o experimento foi realizado de forma que os indivíduos, ao ouvir um sinal sonoro com tempo de reverberação adequado ou não, deveria responder um questionário com uma escala de intensidade, para saber exatamente qual a percepção sentida por cada um. Após a análise dos resultados, foi possível concluir que muitas pessoas souberam julgar a reverberação dos ambientes, mas tiveram dificuldade em saber o que seria necessário realizar para melhorar acusticamente o ambiente.

Palavras-chave: Percepção; acústica; tempo de reverberação.

ABSTRACT

Each individual has a distinct perception about an environment according to their emotions, much of what the individual perceives is related to the sound perception. The present work consists in a study of evaluation of auditory perception in Concert Halls in order to analyze the perception that different people have when listening to music tracks, inserted through a software, in different concert halls, presenting reverberation times that are not ideal. Thus, the experiment was conducted so that individuals, when hearing a sound signal with appropriate reverberation time or not, should answer a questionnaire with an intensity scale, to know exactly what the perception felt by each one. After analyzing the results, it was concluded that many people knew how to judge the reverberation of the environments, but had difficulty knowing what would be needed to acoustically improve the environment.

Keywords: Perception; acoustic; reverberation time.

1. INTRODUÇÃO

Salas de concerto são espaços que primam por qualidade sonora, e seus atributos arquitetônicos determinam seu desempenho acústico. Essas salas devem atender a requisitos específicos para uma acústica adequada, permitindo que o som se propague em todo o ambiente de forma uniforme, bem definido em suas propriedades e preservado em sua forma original, (TAKAHASHI, 2010).

Atualmente no Brasil, observa-se a proliferação de espaços denominados “multiuso”, onde ocorrem as mais diversas atividades, dentre elas apresentações com uso de palavra falada e apresentações musicais. Do ponto de vista da qualidade acústica, esta sobreposição de atividades incompatíveis pode resultar em prejuízo na qualidade sonora do espetáculo.

Beranek (2004) afirma que a qualidade acústica das salas de concerto depende de vários fatores, tais como: dimensão da sala, proporção entre materiais fonoabsorventes e fonorrefletentes, posição de elementos refletores e difusores, capacidade da sala, controle do ruído invasivo por meio de isolamento sonoro, dentre outros. Desta forma, é imprescindível que nestes espaços os atributos construtivos sejam pensando em conjunto com os atributos arquitetônicos, potencializando a qualidade acústica desses espaços.

De acordo com Barron (1993), em cada período histórico, a música (barroca, gótica, clássica, popular e contemporânea) foi concebida para ser executada em um tipo de espaço, cada qual com características diferentes, expressas por meio de parâmetros acústicos como o tempo de reverberação (T60).

Wallace Clement Sabine foi um físico que se dedicou seriamente ao estudo da acústica, na interseção entre a Física e a Arquitetura. Sabine afirmava que os conhecimentos das duas áreas deveriam ser considerados (BARRON, 1993).

Em termos práticos, para um auditório ser considerado acusticamente adequado para a palavra falada, o som emitido pelos oradores (fonte sonora) deve atingir o público (receptores) com uma determinada quantidade de energia e um tempo de reverberação curto, sendo que suas componentes simultâneas devem manter suas intensidades relativas e os sons sucessivos claros e em rápida articulação (SABINE, 1922).

Quando o som atinge uma superfície, parte da energia sonora é refletida de volta ao ambiente, parte é transmitida ao outro lado da parede e parte da energia é absorvida pela parede, pela transformação de energia cinética em energia térmica (calor), dissipando-se no ambiente. (NAKAMURA, 2006).

Um dos parâmetros utilizados para avaliação da qualidade acústica de um ambiente é o Tempo de reverberação (T60), definido como o tempo necessário (medido em segundos), para que um som impulsivo caia 60 dB após a fonte sonora cessar sua emissão. Para cada tipo de atividade é recomendado um tempo de reverberação ótimo em função do volume de ar do recinto, conforme estabelecido pela NBR 12.179 (1992).

Neste sentido, Rasmussen (2015) comenta sobre um dos princípios básicos da acústica arquitetônica, de que o tratamento dado a um ambiente depende do tipo de atividade e uso a ser desenvolvido no mesmo. Ou seja, não é porque um recinto tem um tempo de reverberação (T60) longo que este pode ser considerado ruim ou inadequado. Neste sentido, existem estilos musicais para os quais é necessário que o ambiente onde será executada a peça tenha uma reverberação longa (acima de 2 segundos).

O tempo de reverberação depende do volume do ambiente (m^3) e da absorção sonora do ambiente, medido em função das áreas e do coeficiente de absorção (α) dos materiais que o revestem internamente. Há uma relação diretamente proporcional com o volume, ou seja, quanto maior o tamanho do ambiente, maior será o tempo de reverberação. É uma relação inversamente proporcional com a absorção sonora, ou seja, quanto mais fonoabsorvente os materiais escolhidos para o revestimento interno forem, maior quantidade de energia será absorvida, resultando num menor o tempo de reverberação para o recinto (CARVALHO, 2010).

A acústica das salas de concerto tem sido investigada desde o trabalho pioneiro de Wallace Sabine, e desde então pesquisadores tem buscado compreender e definir quais atributos perceptivos contribuem para a opinião geral da uma qualidade acústica ideal de um ambiente. Com o objetivo de entender a resposta humana ao campo sonoro complexo em um espaço fechado, a pesquisa sobre a acústica de salas tem aplicado métodos objetivos e subjetivos (LOKKI, 2014).

Objetivamente, as salas de concerto são estudadas através da análise do decaimento da energia sonora. Em particular, os pesquisadores medem as respostas ao impulso - isto é, de que forma um breve sinal sonoro emitido a partir de uma posição do palco é recebido em função do tempo em outras posições da platéia. A partir dessas medições, podem-se derivar vários parâmetros acústicos, como tempo de reverberação, intensidade do som, equilíbrio entre a energia sonora inicial e tardia e medidas das propriedades espaciais do som, conforme especificado pela International Organization for Standardization, (ISO, 2009).

Já a comparação subjetiva de salas de concerto é considerada uma tarefa complexa. A música executada, o maestro e a performance da orquestra afetam a experiência auditiva,

e a influência somente da sala de concerto é um parâmetro difícil de ser isolado (LOKKI, 2014).

Tradicionalmente, pesquisas subjetivas foram realizadas distribuindo questionários para ouvintes em concertos ao vivo ou entrevistas com condutores, músicos e membros da audiência. Após 50 anos de experiência em pesquisa subjetiva, Leo Beranek desenvolveu um ranking das melhores salas de concerto do mundo (BERANEK, 2004). Avaliações subjetivas também são feitas em condições laboratoriais com técnicas chamadas de “acústica virtual”, onde há a simulação da resposta acústica da sala por meio da convolução de sinais musicais a partir da resposta impulsiva capturadas em salas reais.

De acordo com Neumann (2017), tem-se observado o aumento do número de pesquisas sobre acústica no Brasil, impulsionadas também pela Norma Brasileira (NBR) aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, de número 15.575 (ABNT, 2013), que estabeleceu padrões de qualidade acústica para as edificações que antes não eram exigidas.

1.1 Problema da Pesquisa

Dentro dos conceitos apresentados, observa-se a necessidade de uma qualidade acústica para o desenvolvimento adequado das funções de um ambiente, estudada neste trabalho por meio do parâmetro Tempo de Reverberação (T60). Esta necessidade adquire maior importância quando os espaços têm como função primordial a apreciação musical, como nas salas de concerto. Neste sentido, questiona-se como a percepção auditiva de um sinal sonoro relaciona-se com o tempo de reverberação de diferentes ambientes?

1.2 Objetivo

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar subjetivamente diferentes salas de concerto por meio da percepção auditiva a partir da técnica de auralização. Abaixo, segue uma síntese do percurso de investigação definido para atingir o objetivo da pesquisa:

1. Análise do projeto arquitetônico de diferentes salas de concerto;
2. Simulação em ambiente virtual (auralização) do som tal como percebido nos projetos estudados;
3. Avaliação da percepção auditiva de acordo com o parâmetro acústico definido (T60);

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A arquitetura das Salas de Concerto

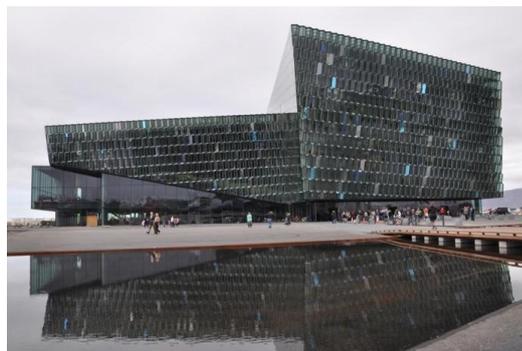
Com o objetivo de explorar e entender a arquitetura de salas de concerto e sua relação com a acústica, selecionamos 4 salas para descrição detalhada.

a. Harpa Concert Hall

Localizada em Reykjavik, na Islândia, a Sala de Concerto apresenta em sua arquitetura, uma estrutura de aço revestida com painéis de vidro em diferentes cores e formatos, se destaca por ser uma grande estrutura que reflete tanto o céu e o espaço do porto, quanto a animada vida na cidade.



a)

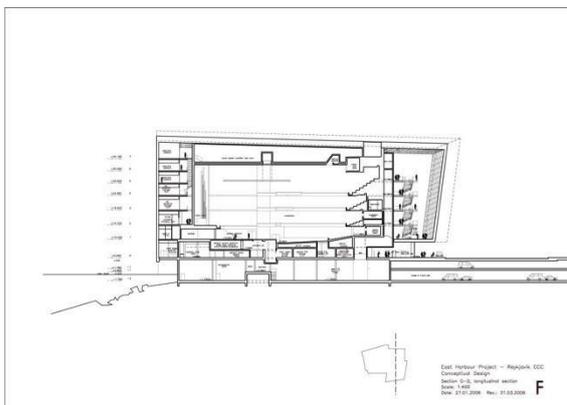


b)

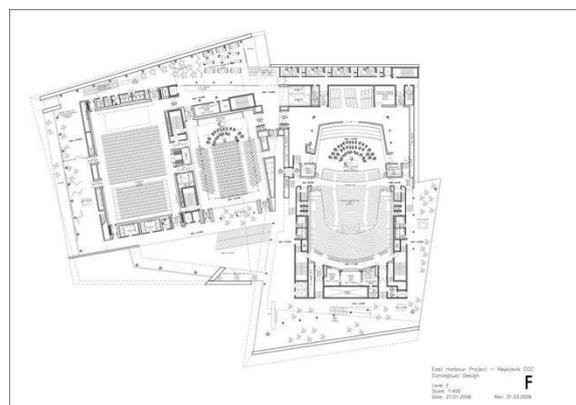
Figura 1 – Harpa Concert Hall a) Interior e b) Exterior

Fonte: <<https://www.archdaily.com.br/>>.

O Projeto foi realizado pelo escritório Henning Larsen Architects e pelo artista dinamarquês Olafur Eliasson. O edifício possui uma área de chegada na frente e um foyer, quatro corredores no meio e uma área de bastidores com sala de ensaios, vestiários, administração e escritórios na parte de trás. A principal sala de concertos, localizada no segundo andar, é a maior com capacidade para 1.800 pessoas.



a)



b)

Figura 2 – Desenhos técnicos da Harpa Concert Hall a) corte e b) planta

Fonte: <<https://www.archdaily.com.br/>>.

A instalação das salas de concerto, está equipada com os melhores sistemas tecnológicos de preparo, som e apresentação. Os sistemas acústicos ajustáveis incluem

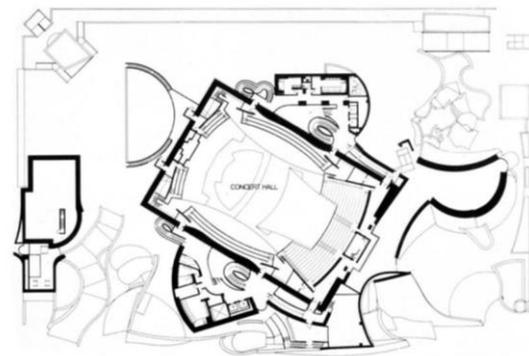
câmaras de controle acústicas acopladas e um sistema refletor aéreo de duas peças chamado dosséis. O design de acústica e equipamento teatral foi projetado pela Artec Consultants (FERNANDES, 2011).

b. Walt Disney Concert Hall

O projeto realizado por Frank Gehry apresenta em sua parte externa uma composição de formas onduladas e anguladas, simbolizando o movimento musical, essa curvatura exigiu uma estrutura de aço totalmente específica.



a)



b)

Figura 3 – Walt Disney Concert Hall a) Vista interna e b) Planta baixa

Fonte: <<https://www.archdaily.com/>>.

A sala de concertos foi projetada como um único volume, com a orquestra e audiência ocupando o mesmo espaço. A sala de concertos principal é envolta por paredes onduladas e tetos sinuosos feitos de Douglas-fir (espécie de conífera nativa da América do Norte). A estrutura do telhado de aço abrange todo o espaço, eliminando a necessidade de pilares internos. A sala conta com capacidade para 2.200 pessoas

O arquiteto trabalhou com Yasuhisa Toyota, um consultor acústico, para aprimorar a resposta sonora do salão por meio da materialidade. Foi utilizado um modelo 1:10 do auditório, completo com um modelo ocupando cada assento para testar a acústica (JONES, 2013).

c. Kammermusik

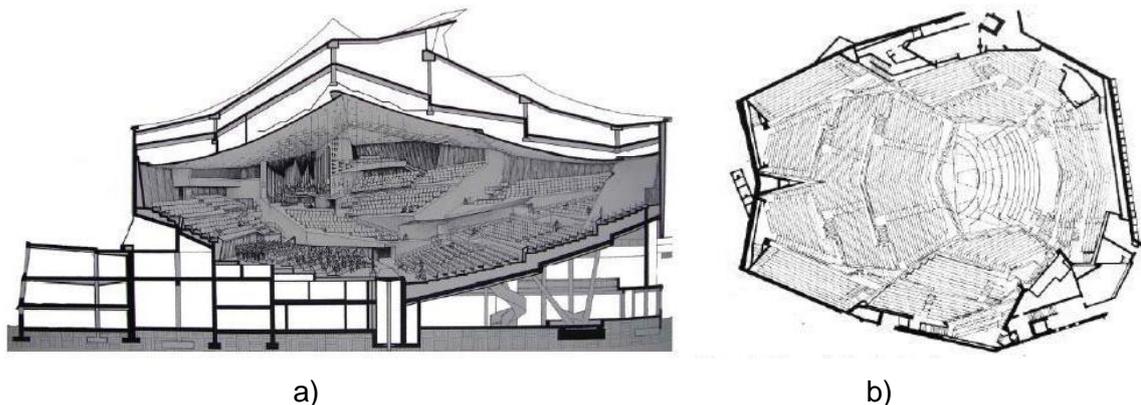
A sala de concerto é obra do arquiteto Hans Scharoun e foi inaugurada em 1962, na Alemanha. O objetivo inicial do arquiteto era colocar a plateia em volta da orquestra, remetendo aos círculos de pessoas que se formam em volta do músico para escutar uma música informalmente.



Figura 4 – Kammermusik a) Vista interna e b) vista externa

Fonte: <<https://www.berliner-philharmoniker.de/en/chamber-music-hall/>>.

O uso do espaço é muito particular neste trabalho pois o palco é colocado no meio da sala. Na verdade, não no centro geométrico, mas a orquestra é cercada pelo público que fica em terraços ao redor. Apesar da grandeza da sala, você tem uma atmosfera íntima e uma excelente acústica (TAKAHASHI e BERTOLI, 2012).



a)

b)

Figura 5 – Kammermusik – desenhos técnicos a) Corte e b) Planta

Fonte: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212012000100013>.

É um salão singular, assimétrico e semelhante a uma tenda cônica dividida em vários níveis, a sala de música tem uma forma hexagonal e a altura é aumentada irregularmente para uma fácil visibilidade de todos os cantos. A altura das filas de assentos aumenta irregularmente com a distância do palco (ZOHLEN, 2011).

d. Sydney Opera House

A obra foi concebida por Jørn Utzon, que ganhou um concurso internacional de arquitetura para projetar a Ópera de Sydney. O edifício demorou anos a ser construído, pois a obra foi abandonada por um tempo devido às divergências entre o arquiteto e seu cliente nas questões relativas à acústica e ao orçamento do projeto, (PEREZ, 2016).



a)

b)

Figura 6 – Sydney Opera House a) Vista interna e b) Vista externa

Fonte: <<https://www.archdaily.com.br/br/784303/classicos-da-arquitetura-pera-de-sydney-jorn-utzon>>

Em 2017, o edifício começou a ser remodelado, tendo seus trabalhos planejados de forma a que a programação da sala não fosse interrompida. A maior parte do orçamento foi destinado ao aprimoramento da acústica da sala de concerto por meio da instalação de elementos fonorrefletores que auxiliam na distribuição homogênea do som no recinto.

A estrutura da cúpula foi moldada geometricamente, sendo necessários seis anos e pelo menos doze diferentes interações para viabilizá-la. A estrutura do edifício é de concreto reforçado e o telhado do teatro são cobertos com 1.056.000 azulejos branco brilhante e creme fosco. O interior do edifício é composto de granito rosa, madeira e contraplacado (PEREZ, 2016).

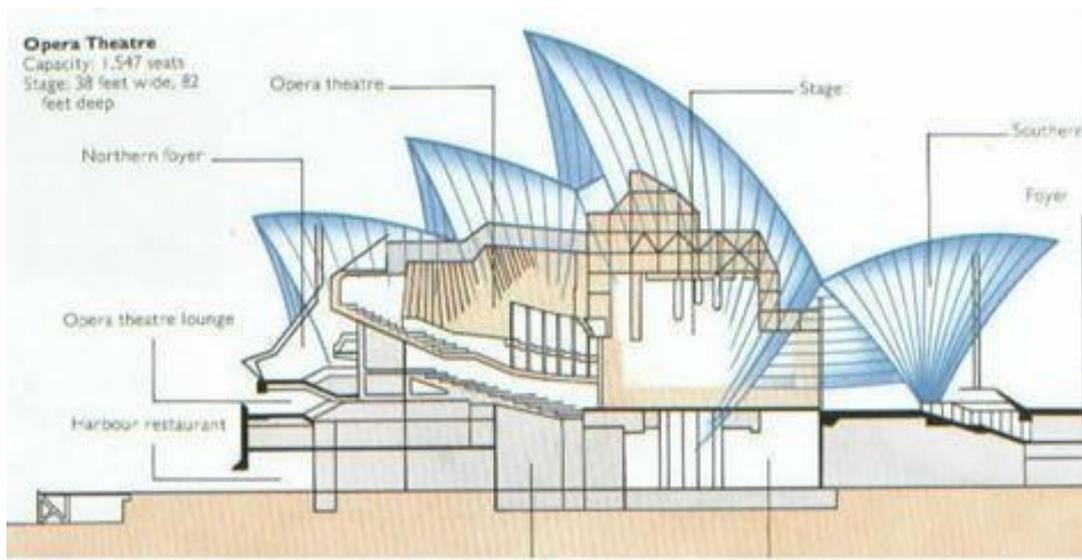


Figura 7 – Sydney Opera House – Corte esquemático

Fonte: <<https://www.archdaily.com.br/>>

2.2 Arquitetura e Tempo de reverberação

Segundo Rasmussen (2015), o tratamento dado a um ambiente depende do tipo de atividade e uso a ser desenvolvido no mesmo. Ou seja, não é porque um recinto tem um tempo de reverberação (T60) longo que este pode ser considerado ruim ou inadequado.

Um dos parâmetros utilizados para avaliação da qualidade acústica de um ambiente é o Tempo de reverberação (T60), definido como o tempo necessário (medido em segundos), para que um som impulsivo caia 60 dB após a fonte sonora cessar sua emissão. Para cada tipo de atividade é recomendado um tempo de reverberação ótimo em função do volume de ar do recinto, conforme estabelecido pela NBR 12.179 (1992).

O tempo de reverberação depende do volume do ambiente (m^3) e da absorção sonora do ambiente, medido em função das áreas e do coeficiente de absorção (α) dos materiais que o revestem internamente. Há uma relação diretamente proporcional com o volume, ou seja, quanto maior o tamanho do ambiente, maior será o tempo de reverberação. É uma relação inversamente proporcional com a absorção sonora, ou seja, quanto mais fonoabsorvente os materiais escolhidos para o revestimento interno forem, maior quantidade de energia será absorvida, resultando num menor o tempo de reverberação para o recinto (CARVALHO, 2010).

Wallace Clement Sabine desenvolveu os primeiros estudos sobre a reverberação tornando possível prever o tempo de reverberação de uma sala antes mesmo de construí-la (SABINE, 1922). De acordo com o autor, a solução de um problema deve ser revivida anteriormente a construção do edifício, e não posteriormente, como era comum à época.

Para tal, Sabine desenvolveu esse método por meio de sua fórmula (Equação 1), que diz que o T60 é diretamente proporcional ao volume de uma sala (m^3), e inversamente proporcional à quantidade de cada material aplicado no interior do ambiente e seu respectivo coeficiente de absorção (α).

$$T60 = \frac{0,16 V}{\sum \alpha A} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

T60 – Tempo de reverberação (em segundos);

V – Volume do ambiente (m^3);

α – Coeficiente de absorção do material, por frequência (Hz);

A – Área superficial ocupada pelo material;

Beranek (1962) comprovou que existe uma forte relação entre o estilo musical e a reverberação do espaço no qual será executada uma peça. Por meio de um estudo

realizado com especialistas e críticos, constatou-se a preferência de se escutar peças de Bach em salas de dimensões pequenas e com tempo de reverberação relativamente curto.

De acordo com Nepomuceno (2019), uma sala reverberante é chamada de ‘viva’ e, ao contrário, uma sala com baixo tempo de reverberação é chamada de ‘morta’ ou ‘seca’. Ambientes para palavra falada, como os teatros, exigem tempo de reverberação curto para garantir a inteligibilidade do que é dito. Em salas de concerto e igrejas, o tempo de reverberação deve ser mais longo, de cerca de dois segundos ou mais, para que o som emitido pela orquestra possa preencher todo o volume do ambiente.

Beranek (2004) afirma que a qualidade acústica das salas de concerto depende de vários fatores, tais como: dimensão da sala, proporção entre materiais fonoabsorventes e fonorrefletentes, posição de elementos refletores e difusores, capacidade da sala, controle do ruído invasivo por meio de isolamento sonoro, dentre outros.

No quadro abaixo é possível observar os valores de tempo de reverberação para diferentes salas de concerto. A variação entre a condição “sala lotada” e “sala vazia” dá-se por causa da absorção sonora proporcional à ocupação por pessoas dentro do ambiente.

Quadro 1 – Tempo de reverberação de diferentes salas de concerto

Sala	Local	T60 (lotado)	T60 (vazio)
Concertgebouw	Amsterdan, Holanda	2,05	2,55
Symphony Hall	Boston, EUA	1,85	2,40
Musikvereinssaal	Viena, Áustria	2,04	3,06
Stadt-casino	Basileia, Suíça	1,80	2,31
Konzerthaus	Berlim, Alemanha	2,00	2,51
St. David's Hall	Cardiff, Inglaterra	1,96	2,09
Carnegie Hall	New York, EUA	1,80	2,10
Hamarikyu Asahi	Tóquio, Japão	1,65	1,83
Grosse Tonhalleaal	Zurique, Suíça	2,15	3,27

Fonte: Adaptado de <http://www.concerthalls.org/>

2.3 Psicoacústica

A percepção pode ser definida como o processo pelo qual um organismo recebe ou extrai informações acerca do ambiente por meio dos sentidos, que ocorre nas etapas: “Energia física” (entrada); “Transdução sensorial”; “Interveniente do cérebro”; e “Experiência perceptiva” (saída). Dentro do campo da psicoacústica, Forgas (1971) e Mueller (1977)

estão entre os primeiros autores a tratar de forma objetiva a questão do papel da audição, relacionando energia física (estímulo) com a informação psíquica (percepção).

Segundo Locatelli (2007) a percepção e a cognição se complementam entre si, resultando no processo de imagem mental de um determinado ambiente pelo indivíduo. Kohlsdorf (1998) afirma que no campo da arquitetura, a percepção pode ser utilizada como elemento mediador entre o homem e seu entorno, pois o homem se comunica por meio de processos cognitivos.

A experiência da percepção é resultado da interação dos diversos sentidos. Baseado em estudos empíricos, Santaella (2012) afirma que, no diz respeito à percepção humana, 20% relaciona-se à percepção sonora do indivíduo.

Pallasmaa (2011) afirma que o entendimento da espacialidade de um ambiente é articulado pela audição, principalmente devido ao seu caráter temporal:

A audição estrutura e articula a experiência e o entendimento do espaço. Normalmente não estamos cientes da importância da audição na experiência espacial, embora o som muitas vezes forneça o *continuum* temporal no qual as impressões visuais estão inseridas. (PALLASMAA, 2011, p. 47).

Portanto, a percepção auditiva resultante da experiência de estar em um determinado espaço é condicionada pelas suas características arquitetônicas:

Cada prédio ou espaço tem seu som característico de intimidade ou monumentalidade, convite ou rejeição, hospitalidade ou hostilidade. Um espaço é tão entendido e apreciado por meio de seus ecos como por meio de sua forma visual, mas o produto mental de uma percepção geralmente permanece como uma experiência inconsciente de fundo (PALLASMAA, 2011, p.48).

O estudo da percepção auditiva recai principalmente sobre a capacidade de o aparelho auditivo discriminar duas características do som: Frequência (f), que é o número de ciclos a cada segundo de tempo, normalmente apresentada em Hertz (Hz); e Intensidade (dB), que diz respeito à amplitude da onda sonora, caracterizando a variação de pressão do meio em que se verifica a sua propagação, distinguindo sons fortes de sons fracos (CARVALHO, 2010).

Neste sentido, o estudo da percepção auditiva em diferentes espaços pode se beneficiar de métodos computacionais de simulação da propagação do som em ambiente virtual, como a auralização. Esse termo designa técnicas que possibilitam tornar audível o

campo sonoro de uma fonte podendo emular a experiência de audição binaural em uma posição específica em uma sala de concerto (PORTELA, 2008).

As técnicas de auralização de ambientes possibilitam o uso dos ouvidos para escutar a acústica de um ambiente ainda na fase do projeto. A auralização não tem o objetivo de recriar a sensação da fala ou da música, mas sim de simular o som e a impressão aural das características acústicas de uma sala de concerto, causando nos indivíduos diferentes percepções espaciais (PORTELA, 2008).

2.4 Estudos sobre percepção auditiva em salas de concerto

Lokki (2014) compara a avaliação da percepção auditiva de salas de concerto ao método de degustação de vinhos, mostrando que ambos podem ser caracterizados por uma matriz dimensional de atributos perceptuais. Diferentes pessoas, verbalizam suas percepções em diferentes aspectos do som ou do gosto. Os indivíduos percebem o ambiente através das suas emoções, referências e expectativas, e a avaliação sensorial pode ser influenciada por fatores como a peça musical executada, o maestro e a performance da orquestra.

A percepção auditiva de salas de concertos ainda não foi totalmente compreendida, e através do trabalho realizado por Lokki (2012) intitulado “*Disentangling preference ratings of concert hall acoustics using subjective sensory profiles*”, foi proposto uma nova metodologia de avaliação sensorial para acústica de salas de concerto. Esta metodologia utiliza o perfil de vocabulário individual (IVP) para conseguir extrair características descritivas das salas de concerto e para criar perfis sensoriais das salas estudadas.

Figueiredo (2005) avaliou a qualidade acústica de seis importantes salas de concerto da cidade de São Paulo: Teatro Municipal, Teatro Sérgio Cardoso, Anfiteatro Camargo Guarnieri, Teatro Municipal de Diadema, Teatro São Pedro e Teatro do Memorial da América Latina. O autor afirma que a percepção auditiva dentro de uma sala é afetada por diversas impressões acústicas relacionadas ao mesmo tempo e que, cada uma destas impressões é associada a um parâmetro acústico de natureza subjetiva, correlacionada, por sua vez, à uma grandeza física mensurável (parâmetro objetivos).

Santos (2015) estudou a percepção espacial de pessoas portadoras de deficiência visual em ambientes de restaurantes na cidade de João Pessoa (PB). Neste sentido, a autora identificou a poluição sonora (ruído) como elemento principal que afeta negativamente a percepção espacial deste grupo, estabelecendo a necessidade de uma distribuição sonora adequada no interior dos ambientes para facilitar sua orientação.

Fernandes Júnior (2005) descreve como a técnica da auralização pode servir para o estudo do campo sonoro audível de um determinado ambiente. Por meio desta técnica é possível a constituição de ambientes acústicos virtuais que podem ser implementados e simulados, interativamente, em um computador pessoal e experienciados via fones de ouvido.

3. METODOLOGIA

Com base na bibliografia de referência estabeleceu-se o parâmetro a serem analisado nesta pesquisa, concentrando-se no Tempo de Reverberação (T60). A pesquisa então foi desenvolvida em duas etapas: auralização dos sinais sonoros e a aplicação dos questionários para avaliação da percepção auditiva.

a. Auralização dos sinais sonoros

Foi simulada a resposta sonora das diferentes salas por meio do software Reaper e o plug-in de reverb de convolução Altiverb. Nesta etapa foram utilizadas amostras de áudio gravadas em câmaras anecóicas (Anechoic Orchestral Music Recording, 1988), isto é, sem reverberação do ambiente. As amostras correspondem a trechos de músicas clássicas de quatro compositores, a saber:

- Wolfgang Amadeus Mozart: Abertura - "Le Nozze di Figaro", do compasso 1 ao 18 - denominada "Faixa 1";
- George Frideric Handel (Arranjo de Hamilton Harty): No.6 - Water Music Suite, do compasso 1 ao 11 - denominada "Faixa 2";
- Ludwig van Beethoven: 4th mov. - Symphony No.9 in d minor, Op.125 "Choral", do compasso 1 ao 7 - denominada "Faixa 3";
- Claude Debussy: Prelude a l'Après-Midi d'un Faune, do compasso 1 ao 3 - denominada "Faixa 4";

Estes sinais sonoros foram então simulados no software Reaper para resultarem em amostras de áudio tal como se estivessem sendo executados nas salas escolhidas, por meio da resposta impulsiva (RI) de cada ambiente (figura 1).

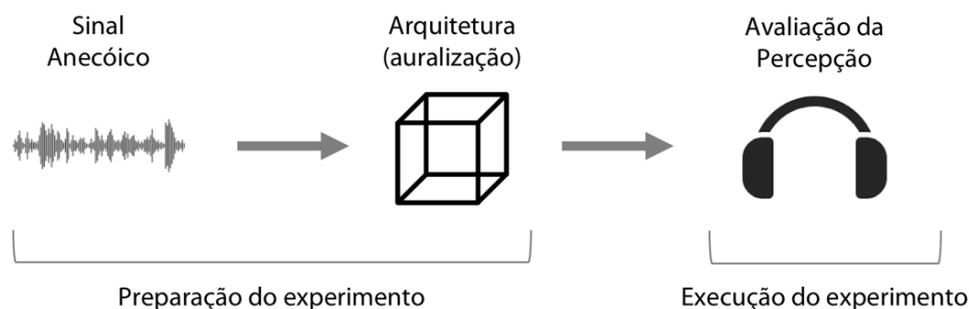


Figura 8 – Etapas desenvolvidas na pesquisa

Fonte: Autoria própria, 2019.

b. Elaboração do questionário

Os sinais simulados foram utilizados na elaboração do questionário interativo que visou avaliar a percepção auditiva dos entrevistados, usando como base o trabalho de Lokki (2014), intitulado “*Tasting music like wine: Sensory evaluation of concert halls*”, no qual o autor descreve as etapas da avaliação sensorial e qualitativa de salas de concerto.

O questionário elaborado é composto de três partes. A primeira parte do formulário consiste em perguntas com o objetivo de identificar o perfil do entrevistado. As perguntas visam conhecer, basicamente: o gênero do entrevistado, idade, qual o grau de escolaridade, curso e semestre que está cursando e qual é a relação do entrevistado com a música.

A segunda parte do experimento se divide em três perguntas, com o objetivo de avaliar a percepção auditiva de diferentes sinais sonoros. Em cada um desses tópicos, o entrevistado ouviu, sem conhecimento da sala avaliada, um dos trechos simulados e tinha sete opções de resposta em escala gráfica para tentar julgar o ambiente quanto a sua reverberação e também o que poderia ser feito para melhorar o ambiente. As alternativas da escala gráfica serão definidas da seguinte forma: -3 (pouco reverberante) até +3 (muito reverberante).

Os sinais sonoros selecionados para esta parte têm a seguinte característica:

- “Faixa 1”, com um Tempo de Reverberação de 12,2 segundos, ou seja, considerada excessivamente reverberante, de acordo com a NBR 12.179. Este T60 é equivalente a um ambiente como o Wembley Stadium;
- “Faixa 2”, com tempo de reverberação de 0 segundos, ou seja, considerada excessivamente “seca” de acordo com a NBR 12.179. Este T60 é equivalente a um ambiente de câmara anecóica;

- “Faixa 3”, com tempo de reverberação de 4,9 segundos, ou seja, considerada adequada conforme a NBR 12.179. Este T60 é equivalente à reverberação da sala Walt Disney Concert Hall;

A terceira parte da pesquisa consiste em uma análise qualitativa, de modo a avaliar o vocabulário do entrevistado acerca do ambiente no qual foi executado o sinal sonoro. Para o questionário, foi apresentado para os entrevistados um som (“Faixa 4”) gravado em uma câmara anecóica e auralizado com a resposta impulsiva da Catedral Gótica King College Chapel, que apresenta um tempo de reverberação alto, de 12.7 segundos. Nessa etapa, os entrevistados, ao ouvirem o som, tinham que adjetivar arquitetonicamente o ambiente que o som está sendo tocado e descrever como imaginam este ambiente.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

O questionário obteve um total de 39 respostas, apresentadas a seguir:

a. Parte 1 - Perfil dos entrevistados

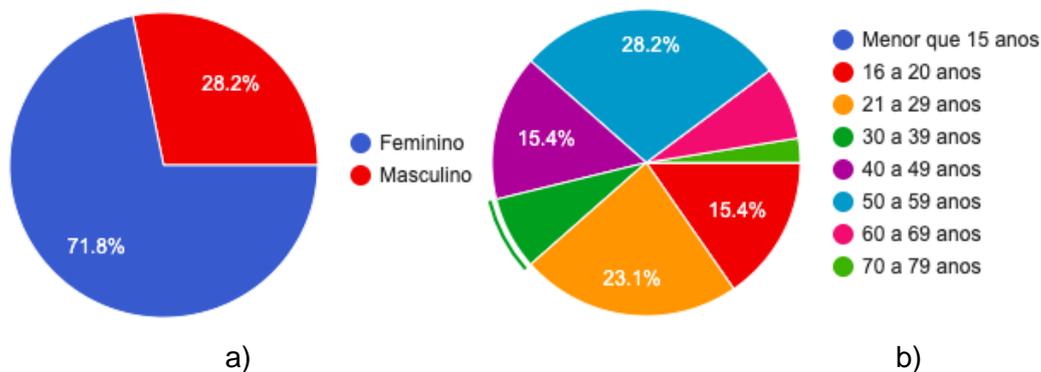


Figura 9 – a) Gênero e b) Faixa etária dos entrevistados;

Fonte: Autoria própria, 2019.

Do total de entrevistados, 28,2% são do gênero masculino e 71,8% do gênero feminino. Quanto a idade dos entrevistados, 28,2% apresentam entre 50 a 59 anos, seguido por 23,1 % que apresentam entre 21 a 29 anos.



a) b)
 Figura 10 – a) Relação com música e b) Escolaridade dos entrevistados;

Fonte: Autoria própria, 2019.

A resposta dos entrevistados sobre a relação com a música mostra que 82,1% apreciam a música, mas não são familiarizados com instrumentos musicais, 15,4% são músicos amadores e apenas 2,5% dos entrevistados são músicos profissionais. Quanto à escolaridade, 38,5% estão cursando o ensino superior, 33,3% já concluíram o curso superior, 23,1% já concluíram a pós-graduação e apenas 5,1% completaram o ensino médio.

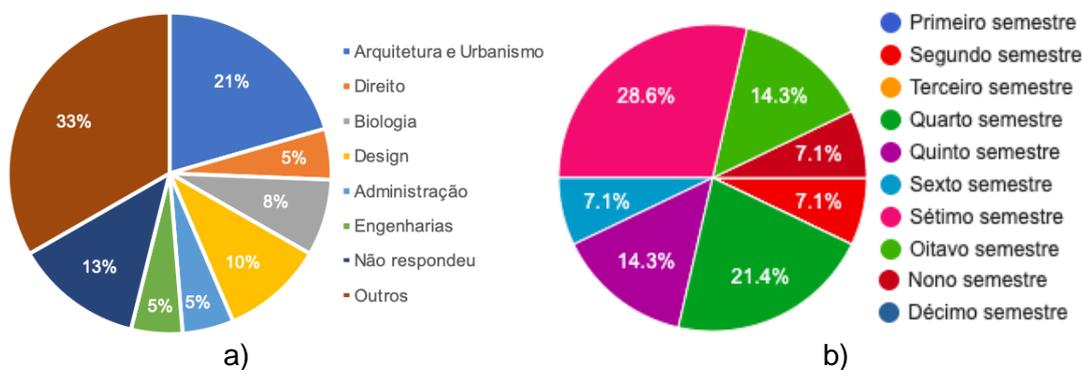


Figura 11 – a) Qual curso? e b) Caso tenha respondido "Ensino superior incompleto", qual semestre está cursando atualmente?;

Fonte: Autoria própria, 2019.

A partir da aplicação do questionário foi possível observar a diversidade de cursos dos entrevistados, sendo que, em sua maior parte, são do curso de Arquitetura e Urbanismo, e em relação ao semestre cursado, há uma prevalência ao sétimo e oitavo semestre.

b. Parte 2 - Percepção dos sinais sonoros

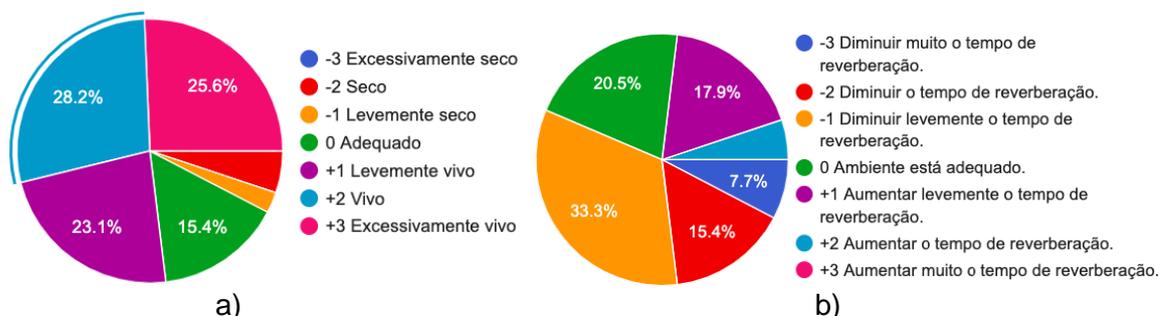


Figura 12 – Faixa 1 - a) Como você julga este ambiente quanto à sua reverberação? b) O que poderia ser feito para melhorar este ambiente?;

Fonte: Autoria própria, 2019.

O primeiro sinal sonoro analisado foi a faixa de Wolfgang Amadeus Mozart “Le Nozze di Figaro”, apresentado com um tempo de reverberação longo (12,2 segundos), considerado excessivamente reverberante. Analisando os resultados, 76,9% dos entrevistados responderam como levemente vivo, vivo ou excessivamente vivo, e apenas 7,7% responderam categorizando-o como “seco”, enquanto 15,4% julgaram o ambiente adequado.

Em seguida o entrevistado era questionado a respeito do que poderia ser feito para melhorar a reverberação do ambiente. 56,4% responderam que seria necessário diminuir o tempo de reverberação para melhorar o ambiente, 23% acharam que seria necessário aumentar o tempo de reverberação e 20,6% acharam que o ambiente já estava adequado.

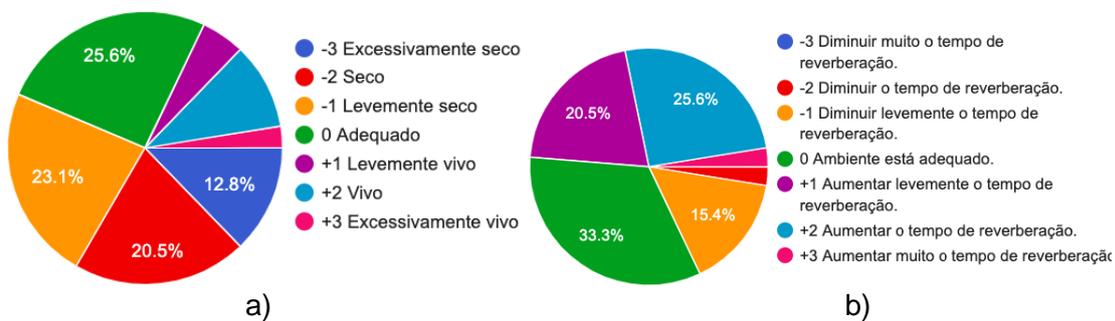


Figura 13 – Faixa 2 - a) Como você julga este ambiente quanto à sua reverberação? b) O que poderia ser feito para melhorar este ambiente?;

Fonte: Autoria própria, 2019.

O segundo sinal sonoro analisado foi George Frideric Handel “No.6 - Water Music Suit”, gravado com um tempo de reverberação curto (0 segundos). Os resultados apontaram que 56,4% julgaram o som como excessivamente seco, seco ou levemente seco, 18% interpretaram o som como levemente vivo, vivo ou excessivamente vivo, e 25,6% responderam que o som estava adequado.

Em relação ao que poderia ser feito para melhorar o ambiente, 48,7% consideraram que o ambiente precisaria aumentar o tempo de reverberação, 18% acharam que o melhor seria diminuir o tempo de reverberação e 33,3% supuseram que o ambiente estava adequado.

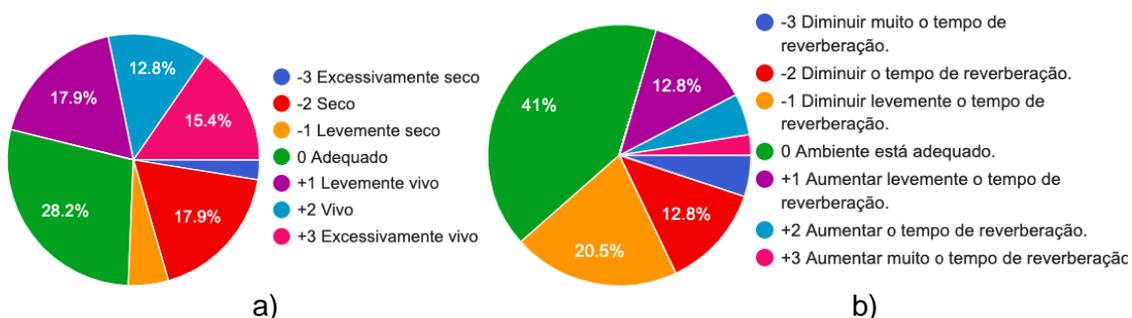


Figura 14 – Faixa 1 - a) Como você julga este ambiente quanto à sua reverberação? b) O que poderia ser feito para melhorar este ambiente?;

Fonte: Autoria própria, 2019.

O terceiro sinal sonoro Ludwig Beethoven “4th mov. - Symphony No.9 in D minor” foi gravado com um tempo de reverberação considerado adequado, de acordo com NBR 12.179. 46.1% dos entrevistados qualificaram-no como excessivamente vivo, vivo ou levemente vivo, 25.6% acharam que o som estava excessivamente seco, seco ou levemente seco, e apenas 28.2% julgaram o som como adequado.

Como solução para melhorar o ambiente, 38.4% dos entrevistados responderam achar necessário diminuir o tempo de reverberação, 33.3% assumiram que seria preciso aumentar o tempo de reverberação e 41% consideraram o ambiente adequado.

c. Parte 3 - Análise qualitativa - vocabulário

Nesta parte, o entrevistado escutava a “Faixa 4”, de “Prelude a l'Après-Midi d'un Faune” de Claude Debussy, auralizado com um longo tempo de reverberação (12,7 segundos) e em seguida deveria descrever como imaginava o ambiente no qual estaria inserido.

Os entrevistados então responderam que o sinal sonoro lhes parecia “confuso, misturado”; “poluído, reverbera muito”; “som muito alongado fica difícil a compreensão”, “massa sonora confusa”. Estas respostas demonstram que o tempo de reverberação excessivamente longo, neste caso, estava prejudicando a compreensão do sinal sonoro. Outros 4 entrevistados responderam que o sinal sonoro parecia “ecoando”; “sinal sonoro intenso, com ecos”; “é um som ecoado, prolongado”; demonstrando uma tendência aos entrevistados confundirem a excessiva reverberação do ambiente com o fenômeno do “eco”, um defeito acústico caracterizado pela repetição de parte do sinal sonoro.

Na segunda pergunta da análise qualitativa, os entrevistados eram solicitados a descreverem como imaginavam o ambiente no qual estava sendo executado este sinal sonoro. O tempo de reverberação longo é comumente associado à ambientes de grandes dimensões, logo, dezenove entrevistados responderam palavras associadas a um ambiente “amplo”, como: “Um lugar comprido”; “Um teatro bem grande”; “Ambiente muito grande”; “Amplio; muito grande”; “Ambiente excessivamente Vivo”; “Grande, vazio e com eco”; “Ambiente amplo e fechado porém com altura elevada”; “Uma grande sala alta e vazia”; “Ambiente de grande extensão”; “uma sala grande, pé direito bastante alto”.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliações subjetivas são pesquisas que podem ajudar a compreender melhor os parâmetros construtivos e arquitetônicos que resultam em uma qualidade acústica adequada. A técnica da auralização mostrou-se satisfatória para a simulação do ambiente acústico de salas reais, comprovando seu potencial de uso como ferramenta para avaliações subjetivas por meio da percepção dos entrevistados.

Foi possível observar que a maior parte dos entrevistados souberam julgar a reverberação do ambiente, mas existiu uma dificuldade para expressar a percepção a respeito do que seria necessário para melhorar a qualidade acústica do recinto. Os resultados obtidos pela análise qualitativa mostram uma unanimidade entre os entrevistados, que associaram o longo tempo de reverberação com um ambiente de grandes dimensões.

Algumas dificuldades foram encontradas, como por exemplo a elaboração de um questionário de fácil entendimento para pessoas não familiarizadas com instrumentos musicais e com conceitos e termos da área da acústica, mais especificamente com o tempo de reverberação. Espera-se que os resultados desta pesquisa possam contribuir para o desenvolvimento de outros trabalhos na área de avaliação subjetiva aplicada à percepção auditiva de espaços com demandas acústicas.

6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179**. Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**. Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- BARRON, Michael. **Auditorium Acoustics and Architectural Design**, E&FN Spon". 1993.
- ISO - International Organization for Standardization, 3382-1: 2009, "**Acoustics— measurement of room acoustic parameters—part 1: Performance spaces**", Geneva (2009).
- BERANEK, L. **Music, Acoustics. Architecture**, LL Beranek. 1962.
- BERANEK, L. **Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture**, 2nd ed., Springer, New York (2004).
- CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, p. 219, 2010.
- FERNANDES JÚNIOR, A. C. L. **Auralização: técnicas de modelagem e simulação binaural de ambientes acústicos virtuais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual de Campinas, 2005.
- FERNANDES, G. **Harpa Concert Hall and Conference Centre** / Henning Larsen Architects, 2011, Archdaily. Disponível em : <<https://www.archdaily.com.br/br/01-6463/harpa-concert-hall-and-conference-centre-henning-larsen-architects>> .

FIGUEIREDO, F. L. **Parâmetros acústicos subjetivos: Critérios para avaliação da qualidade acústica de salas de música**. Tese. Universidade de São Paulo, 2005.

FORGUS, R. H. **Percepção: o processo básico do desenvolvimento cognitivo**. São Paulo: Herder, 1971.

JONES, R. **Clássicos da Arquitetura: Walt Disney Concert Hall**, 2013. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/441358/ad-classics-walt-disney-concert-hall-frank-gehry>>

KOHLSDORF, M. E. **Percepção da paisagem e planejamento da identidade**. Oliveira L. & Machado LMCP Cadernos Paisagem. Rio Claro: UNESP, 1998.

LOCATELLI, L. **Orientação espacial e características urbanas**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

LOKKI, T. et al. Disentangling preference ratings of concert hall acoustics using subjective sensory profiles. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 132, n. 5, p. 3148-3161, 2012.

LOKKI, T. Tasting music like wine: Sensory evaluation of concert halls. **Physics Today**, v. 67, n. 1, p. 27, 2014.

MUELLER, C. G., **Psicologia sensorial**, 2a Edição, Curso de psicologia moderna, Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1977.

NAKAMURA, J. **Conforto acústico**. Revista Técnica, 106ª Edição, Ano XIV, p.44-47, 2006.

NEUMANN, H.R. **Projeto acústico para transtornos sensoriais**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2017.

NEPOMUCENO, J. A. **Acústica Sala São Paulo**, 2019. Disponível em <<http://www.salasaopaulo.art.br/paginadinamica.aspx?pagina=acustica>>

PALLASMAA, Juhani. **Os olhos da pele: a arquitetura e os sentidos**. Artmed Editora, 2011.

PENTEADO, A. P. B.; IAROZINSKI NETO, A. Análise da percepção dos sons por orientação profissional do entrevistado e por gênero do usuário do ambiente. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

PEREZ, A., **Clássicos da Arquitetura: Ópera de Sydney / Jørn Utzon**, 2016. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/784303/classicos-da-arquitetura-pera-de-sydne-utzon>>

PORTELA, M. S. **Caracterização de fontes sonoras e aplicação na auralização de ambientes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

RASMUSSEN, S. E. **Arquitetura vivenciada**. Martins Fontes, 2015.

SABINE, P. E. Diffraction effects in sound absorption measurements. **Physical Review**, v. 19, n. 4, p. 402, 1922.

SANTAELLA, L. **Percepção: fenomenologia, ecologia, semiótica**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SANTOS, M. S. S. **A percepção espacial de pessoas com deficiência visual**: estudo de caso em ambientes de restaurantes em João Pessoa-PB. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal da Paraíba, 2015.

TAKAHASHI, V. F. M. **Influência das características arquitetônicas na qualidade acústica de salas de concerto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, 2010.

TAKAHASHI, V. F. M, BERTOLI, S. R., Relação entre atributos acústicos e características arquitetônicas de salas de concerto aplicando o método da síntese da forma, **Ambiente Construído**, 2012.

ZOHLEN, Gerwin, Unique: Der Bau des Kammermusiksaals, 2011.

Contatos: marcela_estorino@hotmail.com e carolina.maciел@mackenzie.br