



Reconstrução acústica da Cinemateca Capitólio a partir de um modelo previsional

Vattathara, S. D.¹; Santos, C.¹; Melo, V. S. G.^{1,2}

¹ Engenharia Acústica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, {shaliny.vattathara, chistian.santos}@eac.ufsm.br

² Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, viviane.melo@ufsm.br

Resumo

A Cinemateca Capitólio é um edifício com mais de 90 anos de história, localizado no centro de Porto Alegre, tombado como patrimônio histórico e cultural do estado do Rio Grande do Sul. A sala analisada passou por três reformas estruturais significativas, cada uma marcando uma época distinta para o edifício e para a população local. O trabalho desenvolvido investiga a propagação do campo acústico no interior do recinto e a influência das características estruturais do edifício em sua configuração atual e na década de 80. O principal objetivo da pesquisa é desenvolver um modelo virtual da sala analisada, que seja ajustado para apresentar características acústicas mais próximas da realidade em sua configuração atual. Neste sentido, medições *in situ* e o estudo dos registros históricos do edifício é realizada a fim de obter as informações necessárias para dar suporte ao desenvolvimento e ajuste do modelo virtual. Após a etapa de ajustes, baseando-se nos dados obtidos nas medições e na pesquisa de documentação (desenhos e iconografias), é feito um comparativo entre o tempo de reverberação (T_{30}) medido e o simulado. Com os dados ajustados, realiza-se a modelagem acústica da sala no período aproximado de 1980 e comparam-se os resultados de T_{30} com a sala de cinema atual. A partir do ajuste do T_{30} , auralizações são desenvolvidas a fim de analisar a variação da percepção sonora entre as salas medida e simulada em sua configuração atual.

Palavras-chave: acústica de salas, reconstrução acústica, auralização.

Acoustic reconstruction of the Cinemateca Capitólio based on a virtual model

Abstract

The Cinemateca Capitólio is a building with more than 90 years of history located in the centre of Porto Alegre and listed as an historical and cultural heritage of the state of Rio Grande do Sul. The room under analysis has undergone three significant structural reforms, each one marking a different era for the building and for the local population. The developed project investigates the propagation of the sound field inside the room and the influence of the structural characteristics of the building in its current configuration and in the 1980s. The main goal of the project is to develop a virtual model of the analyzed room that will be adjusted in order to have acoustic characteristics closer to reality. In this sense, the *in situ* measurement and the study of the historical records of the building are carried out in order to obtain the necessary information for the development and adjustment of the virtual model. After the adjustment stage, based on the data obtained by the measurement and the documentation research, a comparison is made between the measured and simulated reverberation time (T_{30}). With the adjusted data, the acoustic modelling of the room in the approximate period of 1980 and the results of T_{30} are compared with the current cinema room. Based on the T_{30} adjustment, auralizations are developed in order to analyze the variation of sound perception between the measurement and the simulation in the room's current configuration.

Keywords: room acoustics, acoustic reconstruction, auralization.

1. Introdução

O cinema enquanto arte começou a se popularizar após o surgimento de inovações relacionadas à projeção de filmes, como o quinetoscópio e o cinematógrafo [1], a partir de 1890 aproximadamente. Com o passar dos anos, a adaptação e construção de locais voltados para a projeção de filmes se difundiu em nível mundial e, nesse contexto, muitos teatros, que antes regiam atividades ao vivo, passaram por mudanças no que diz respeito à adição de equipamentos e técnicas com foco em reproduzir obras cinematográficas.

A acústica interna de um determinado ambiente é consideravelmente influenciada pelas mudanças estruturais que ocorrem ao longo dos anos. Essas reformas e atualizações fazem uma participação muito importante no que diz respeito à variação da paisagem sonora interna e o seu estudo é fundamental por auxiliar na investigação e compreensão das alterações do campo acústico de um determinado ambiente que acontecem no decorrer dos anos. No Brasil, a análise técnica do campo acústico de uma determinada sala, explorando as variações estruturais que marcam sua história em diferentes períodos de tempo, é uma abordagem nova e pouco explorada atualmente. Nesse sentido, o presente trabalho surge como uma tentativa de resgatar a memória sonora de um cinema localizado na cidade de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. O objeto de estudo da pesquisa é a sala de cinema da Cinemateca Capitólio Petrobrás, edifício que foi inaugurado em 1929 e que atualmente é patrimônio histórico do Estado.

A sala analisada passou por três reformas estruturais significativas, cada uma marcando uma época distinta para o edifício e para a população local. O trabalho desenvolvido investiga o campo acústico influenciado pelas características estruturais da sala nas décadas de 1980 e 2020, a partir de uma análise quantitativa. Para tal, o estudo iniciou com a análise dos registros históricos sobre o edifício e com o desenvolvimento de medições "in situ" para a obtenção da resposta impulsiva monoauricular da sala atual. Após a avaliação dos dados obtidos, foram realizadas simulações de modelagem acústica da sala de 2020 a fim de ajustar o modelo simulado em relação ao medido. Por fim, realizou-se a simulação da sala de 1980 levando em consideração a pesquisa de documentação e as variações obtidas na sala atual.

2. Fundamentação teórica

A acústica de salas é uma área de conhecimento que estuda o comportamento do campo acústico no interior de ambientes. A partir de seu estudo é possível recriar ambientes que representem a propagação da energia sonora de uma sala além de obter parâmetros objetivos para avaliação de tal propagação. Segundo Brandão [2], a acústica de salas estuda as variadas formas que o som se propaga em um recinto e, portanto, é importante analisar o comportamento do fenômeno no tempo, espaço e frequência. Uma fonte no interior de um recinto fechado irá emitir inúmeras ondas de frequências distintas e quantificar esse fenômeno é uma tarefa um tanto complexa, portanto o cálculo do campo sonoro é dividido em quatro regiões de análise, conforme apresentado na Figura 1. As áreas que tratam das regiões B e C são denominadas de acústica geométrica e estatística e nelas são analisadas as regiões que são dominadas por difração e alta densidade modal, começando a partir da frequência de Schroeder, f_s , cujo valor é obtido pela equação:

$$f_s = 2000 \sqrt{\frac{TR}{V}}, \quad (1)$$

em que TR é o tempo de reverberação esperado no interior da recinto e V é o volume da sala.

A acústica geométrica analisa a propagação da energia sonora de forma retilínea e, portanto considera as características geométricas da sala [2]. Os modelos matemáticos baseados na acústica geométrica são utilizados como base teórica na implementação de *software* de acústica de salas. Geralmente, os dois principais métodos de cálculo do campo sonoro implementados computacionalmente são o método de traçado de raios e o de fontes virtuais.

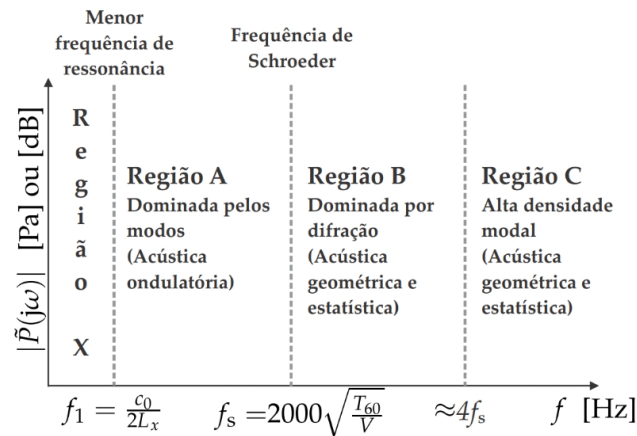


Figura 1: Regiões do espectro audível [2].

2.1 Parâmetro objetivo de salas

Os parâmetros objetivos de salas são métricas, obtidas a partir da resposta impulsiva do recinto, que quantificam descrições subjetivas percebidas por um determinado indivíduo. É importante destacar que a maioria desses parâmetros varia com a posição do par fonte-receptor e também ao longo da sala de forma geral. O parâmetro avaliado no presente trabalho é o Tempo de reverberação (T_{30}). Trata-se de uma medida que quantifica o tempo necessário para que o nível de pressão sonora (NPS) tenha um decaimento de 60 dB. O T_{30} é tempo que o NPS precisa para decair 60 dB, medido na faixa entre -5 dB e -35 dB.

3. História da Cinemateca Capitólio

A Cinemateca Capitólio é um edifício dedicado ao audiovisual, considerado patrimônio histórico cultural do Estado do Rio Grande do Sul (RS). O prédio, denominado Cine-Teatro Capitólio, foi inaugurado em 1929 no centro de Porto Alegre, em um período em que ambientes exclusivos para cinema se tornavam tipos de construções cada vez mais comuns no mundo e no Brasil. Na época, a cidade estava passando por uma significativa remodelação urbanística e o cine-teatro surgiu com o intuito de valorizar a região central. O edifício tinha uma capacidade de receber 1295 espectadores e inicialmente eram realizadas apresentações artísticas em conjunto com a reprodução de projeções cinematográficas. As figuras 2 e 3 apresentam a fachada do cine-teatro e o interior da sala de cinema na década de 30, respectivamente.



Figura 2: Fachada do Cine-Teatro Capitólio, 1934 [3].



Figura 3: Interior da sala de cinema, 1937 [3].

A partir de 1960, com o surgimento da televisão entre outras causas, os cinemas de rua começaram a

sofrer um processo de crise cultural que levou muitas salas à falência e fechamento. No final da década de 60, o edifício foi assumido por outra gerência que começou uma série de reformas externas como a troca do letreiro e alteração da cor da fachada, mudanças visíveis na Figura 4. Além de reformas internas como a retirada das galerias laterais e a ampliação da tela de projeção, conforme apresentado pela Figura 5. Com a intensificação da crise e o sucateamento contínuo do local, a sala foi fechada definitivamente em 1994 [4].



Figura 4: Fachada do Cine-Teatro Capitólio, 1980 [3].



Figura 5: Interior da sala de cinema, 1980 [3].

Em 1995 o cine-teatro foi adquirido pela Prefeitura de Porto Alegre, visando a restauração do edifício e reabertura das atividades culturais e, em parceria com a Fundação Cinema RS (FUNDACINE) e a Associação de Amigos do Cinema Capitólio (AAMICA), foi criado o projeto de resgate histórico e reforma do edifício com o objetivo de transformá-lo na atual Cinemateca Capitólio. O espaço foi reaberto no início de 2015, apresentando além de espaços culturais, como um acervo bibliográfico e uma galeria de exposições, uma sala de exibição cinematográfica repaginada e restaurada, mantendo as características estruturais originais do prédio, porém com uma capacidade de ocupação reduzida para 164 espectadores.

As figuras 6 e 7 apresentam a fachada da Cinemateca e o interior da sala de cinema com vista para a tela de projeção, respectivamente. Além do edifício contar com novos ambientes, a sala de cinema foi a que passou por uma reforma interna mais ampla, sendo marcada principalmente pela retirada do forro reto no teto, a redução do comprimento da sala e a elevação da região da plateia.



Figura 6: Fachada da Cinemateca Capitólio, 2020 [3].



Figura 7: Interior da sala de cinema, 2020 [3].

Por se tratar de um edifício com mais de 90 anos de história, encontrou-se dificuldade em encontrar registros documentais suficientes para o resgate dos materiais que compõem as superfícies internas do local e que influenciam na acústica da sala na época de sua inauguração, portanto a pesquisa definiu

como foco a reconstrução acústica da sala em 1980 e em sua configuração atual. Para fins de organização do documento, ao longo deste trabalho a sala em 1980 é descrita como Sala C1980 e a sala atual como Sala C2020.

4. Metodologia das medições

Os ensaios *in situ*, para obtenção da resposta impulsiva monoauricular (RI), é a etapa inicial e a mais fundamental na realização da caracterização das condições acústicas do local. A visita técnica à Cinemateca aconteceu no dia 4 de novembro de 2022 e ao todo os ensaios duraram aproximadamente 5 horas. Os ensaios realizados seguiram as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR ISO 3382-1:2017 [5], a qual especifica o método de obtenção de parâmetros objetivos em salas de espetáculos. É importante destacar que todo o procedimento ocorreu com a sala vazia e os dados atmosféricos e ruído residual foram medidos antes e depois das medições.

Os dados atmosféricos aferidos foram temperatura e umidade e a média resultante obtida foi de 22 °C e 58%, respectivamente. Além dos dados atmosféricos, o ruído residual é um parâmetro que deve ser obtido a fim de garantir que a medição da RI não seja contaminada pelo mesmo, uma vez que para a obtenção das curvas de decaimento é necessário excitar a sala com um campo sonoro de tal forma a produzir um nível de pressão sonora no mínimo 45 dB acima do nível de ruído residual nas bandas de frequência em análise [5]. Foram realizadas duas medições de nível de pressão sonora do ruído residual [6], antes e depois de realizar o ensaio de RI, com duração de 1 min cada. O valor médio obtido de L_{Aeq} foi de 42 dB.

4.1 Configuração do sistema de medição

O primeiro passo antes da realização das medições foi a organização dos equipamentos e a definição das posições de fonte e receptor. A Tabela 1 apresenta o número mínimo de posições de receptores a ser configurado em função da capacidade da sala de espetáculo, segundo a norma ABNT NBR ISO 3382-1:2017 [5].

Tabela 1: Número mínimo de posições do receptor em função do tamanho do auditório [5].

Número de assentos	Número mínimo de posições de microfones
500	6
1.000	8
2.000	10

Ainda em relação ao número de posições de fonte e receptor, a ABNT NBR ISO 3382-2:2017 [7] apresenta diretrizes de posicionamento em função do método de avaliação escolhido. Por se tratar de um trabalho de reconstrução acústica, é importante que se consiga um maior detalhamento nos resultados, portanto seguiu-se a recomendação da norma para o método de precisão, no caso, um número mínimo de par fonte-receptor, equivalente a 12 [7]. A sala de cinema possui uma área de plateia de 120 m², com capacidade de 164 assentos, logo a partir das recomendações da norma, foram definidas ao todo 18 combinações de fonte-receptor. A Figura 8 apresenta uma reconstituição ilustrativa do interior da sala de cinema e do posicionamento dos receptores na plateia com a primeira posição de fonte. As coordenadas de cada posição de fonte (F_i) e receptores (R_i) estão descritas na Tabela 2.

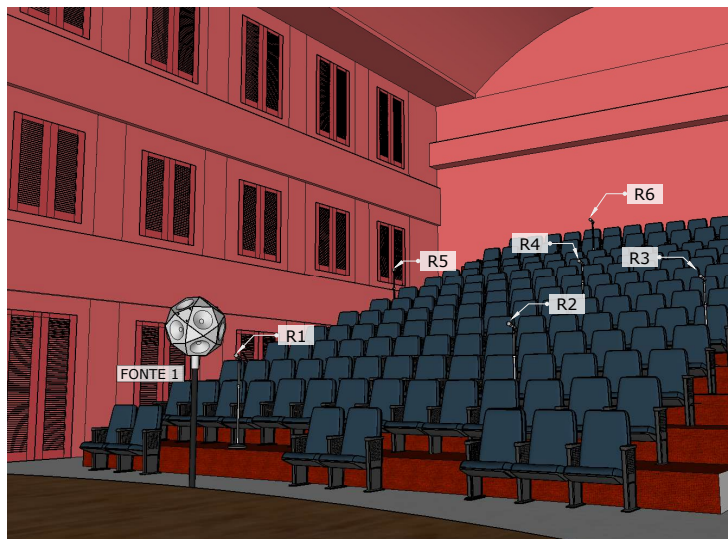


Figura 8: Ilustração do posicionamento da Fonte 1 e dos receptores na sala.

Tabela 2: Cooordenadas das posições de fonte e receptores.

F_i/R_i	X	Y	Z
R1	4,53	7,27	1,2
R2	7,76	8,57	1,2
R3	9,451	10,786	1,2
R4	6,58	13,03	1,2
R5	2,72	14,05	1,2
R6	5,58	18,648	1,2
F1	6,13	4,57	1,7
F2	10,03	8,36	1,7
F3	6,12	9,39	1,7

A instrumentação utilizada para todas as etapas de medição e para a obtenção dos dados de entrada foi: *Notebook Gamer DELL G3*; aquisição de sinais composta por Chassi CompactDAQ 9174 USB National Instruments com 4 slots, 2 módulos de entrada de som e vibração da Série C National Instruments NI-9234; módulo de saída de tensão da Série C National Instruments NI-9263; calibrador de microfones Brüel & Kjær, Tipo 4231; 6 microfones de campo difuso Brüel & Kjær, Tipo 4242-A-021; Fonte sonora dodecaédrica omnidirecional Brüel & Kjær 4292; amplificador analógico Phidellis PH 2616; medidor de nível de pressão sonora Brüel & Kjær, modelo 2270; termohigrômetro; trena a *laser* e tripés.

4.2 Procedimentos de medição

Antes do ensaio foi realizado o ajuste de sensibilidade dos microfones com o calibrador de mão, a fim de evitar incertezas de medição. A cadeia de medição é ilustrada pela Figura 9.

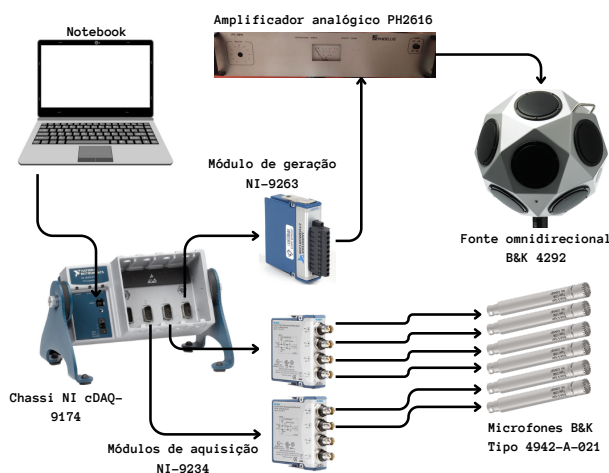


Figura 9: Cadeia de medição utilizada.

Para a excitação da sala foi utilizado um sinal de varredura senoidal exponencial, denominado *sweep*. Esse sinal é gerado pelo *notebook*, em uma faixa configurada de 20 Hz até 20 kHz, com uma duração de excitação de 15 s. Utilizou-se o *software* de programação Matlab para definir a duração das gravações e o número de repetições de *sweep*. Para todas as gravações definiu-se uma sequência de 3 repetições de *sweep* com um tempo padrão para cada repetição de 20 s, sendo 5 s iniciais de silêncio e o restante sendo

a emissão do *sweep*. É importante destacar que a obtenção dos resultados é influenciada pela coloração da função resposta em frequência, FRF, da fonte sonora como também do sistema como um todo.

O pós processamento das medições, assim como a obtenção dos parâmetros objetivos, foi desenvolvido no Matlab com o auxílio do ITA *Toolbox*, uma ferramenta *open source* que reúne um conjunto de funções para a análise e aquisição de dados relacionados à área de acústica.

5. Coleta de registros documentais

Como dita anteriormente, a sala em análise passou por diversas reformas estruturais ao longo dos anos que envolveram a retirada de elementos construtivos, alteração de materiais internos e construção de novos elementos. A fim de conseguir reconstruir a Sala C1980 e avaliar as características estruturais da Sala C2020, foi necessário realizar uma detalhada pesquisa de documentação e registros históricos sobre o edifício. Ao todo foram 3 visitas ao acervo bibliográfico e as buscas incluíram fotos, plantas arquitetônicas e documentos gerais, entre os anos de 1930 e 2020, que descrevessem principalmente as reformas realizadas em cada época de análise.

Dentre os documentos analisados foram encontradas informações relacionadas ao detalhamento interno da sala de cinema nas pranchas arquitetônicas de 1980, Figura 10, como também dados sobre alguns materiais adicionados na reforma de 2005 encontrados no projeto de isolamento e condicionamento acústico da época. Informações relacionadas aos materiais construtivos do edifício foram encontradas na apólice de seguro contra incêndios de 1948, a qual constata-se que as paredes mestras são de cimento armado. Em relação às outras superfícies do interior da sala, as únicas informações disponíveis encontradas foram os registros fotográficos do ambiente, como a Figura 11 que apresenta o revestimento das janelas e das portas laterais no período de 1980 e a Figura 12 que mostra a elevação da plateia na reforma de 2005.

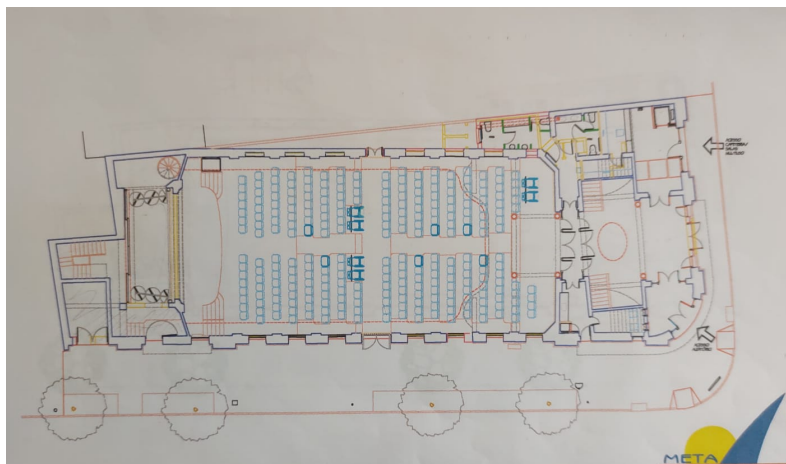


Figura 10: Planta-baixa do pavimento térreo da sala C1980 [3].

6. Simulações acústicas e ajuste de parâmetros

Após a obtenção dos resultados da medição da resposta impulsiva e a coleta dos registros documentais, deu-se início à etapa de simulação. Para conseguir desenvolver a modelagem do campo acústico no interior das duas configurações da sala de cinema do Capitólio utilizou-se o Odeon 11.04, um *software* dedicado à simulações para acústica de salas que utiliza um método híbrido constituído pelo método de fontes virtuais e traçado de raios. A fim de reconstruir a acústica da Sala C1980, foi simulada inicialmente a Sala C2020, por se tratar da sala atual, na qual foram realizadas as medições de RI.

O dado de entrada principal para o funcionamento da simulação é a volumetria da sala. Para tal é necessário desenhar a geometria da sala em cada período de análise em um *software* dedicado para



Figura 11: Interior da Sala C1980 [3].



Figura 12: Reforma da Sala C2020, com destaque na elevação da plateia [3].

desenho digital, que no caso deste trabalho é o SketchUp. Como mencionado por Brandão [2] as superfícies no interior da sala devem ser simplificadas, pois a grande quantidade de detalhes na volumetria aumenta o custo computacional da simulação. Após a importação da volumetria do modelo virtual C2020 no *software* Odeon, os seguintes dados de entrada são inseridos:

- Dados climáticos: temperatura igual a 22 °C e umidade de 58%;
- Receptores: coordenadas iguais às definidas na medição;
- Fontes: fonte omnidirecional com coordenadas iguais às definidas nas medições;
- Materiais: superfícies de aplicação, coeficientes de absorção em bandas de 1/1 oitava e coeficiente de espalhamento em uma banda de frequência especificada.

As figuras 13 e 14 apresentam o modelo virtual, com destaque dos receptores e fontes, e a visualização 3D do modelo no *software* Odeon, respectivamente. Para o cálculo do modelo, foram definidos 500.000 raios, tempo de resposta impulsiva igual a 4000 ms, ordem de transição 2, resolução da resposta impulsiva equivalente a 1 ms e número de primeiros raios de dispersão igual a 100. Os coeficientes de absorção, especificados geralmente em bandas de 1/1 oitava, dos materiais atribuídos foram retirados de diferentes bancos de dados [8–10] tomando como base as informações obtidas a partir do estudo da documentação do Capitólio. Em relação ao coeficiente de espalhamento, são necessárias algumas aproximações, uma vez que o parâmetro não é facilmente encontrado nos bancos de dados existentes. Diferente do coeficiente de absorção α , o coeficiente de espalhamento s é atribuído por superfície em uma frequência central configurada igual a 707 Hz e assim é expandido para as outras bandas de frequência por meio de interpolação ou extrapolação [8].

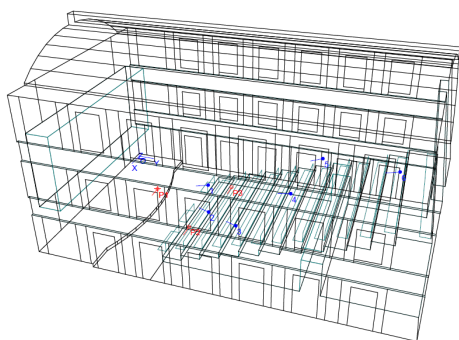


Figura 13: Vista dimétrica do modelo virtual C2020, no *software* Odeon v.11.

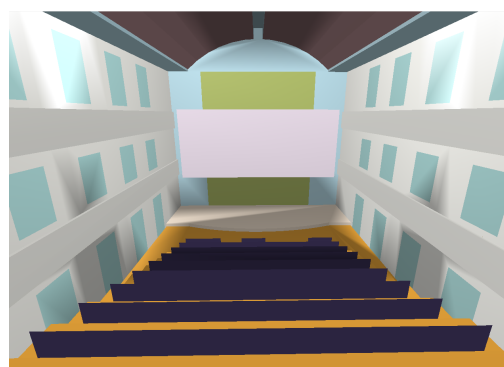


Figura 14: Vista 3D interna do modelo virtual C2020, no *software* Odeon v.11.

O parâmetro objetivo utilizado como comparativo para o ajuste do modelo virtual em relação ao medido foi o tempo de reverberação, T_{30} . Para o ajuste desse parâmetro as alterações definidas focaram principalmente nos coeficientes de absorção dos materiais aplicados, uma vez que a aplicação de absorção em diferentes superfícies influencia diretamente no tempo de reverberação, como constatou Sabine [11] na avaliação das condições acústicas no interior do Museu Fogg Art em 1900. Ainda para o ajuste, as alterações foram simuladas apenas para as posições de fonte F1 e receptor R4 (receptor mais central na sala), com o intuito de diminuir o custo computacional durante o processo de simulação.

A fim de ajustar o parâmetro T_{30} levando em consideração não só o valor numérico como também a percepção sonora, foi utilizada a diferença do limiar observável (JND, do inglês *Just Noticeable Difference*) que representa a variação mínima do fenômeno avaliado que cause uma variação percebida apenas de forma subjetiva [12]. No caso do T_{30} , o ajuste considerou a variação de JND inferior e superior à curva medida, que no caso é de 5%. Assim que o parâmetro simulado em frequência resultou em valores contidos nos limites de JND, o ajuste foi considerado como concluído.

Após a realização do ajuste adequado do tempo de reverberação foi possível realizar a modelagem acústica da Sala C1980. As figuras 15 e 16 apresentam o modelo virtual, com destaque nos receptores e fontes, e a visualização 3D do modelo no *software* Odeon, respectivamente. Nesta etapa da pesquisa foi fundamental revisar os registros documentais e fotográficos, pois a geometria da sala e alguns materiais aplicados são diferentes da sala de cinema atual. Para as configurações da Sala C1980 os dados atmosféricos definidos no *software* Odeon foram mantidos os mesmos da Sala C2020. Em relação à aplicação dos materiais, as superfícies da sala que sofreram alterações foram os assentos, as janelas e o forro. Os resultados obtidos das simulações de ambas as salas, assim como comparativos com os dados obtidos pelas medições e algumas discussões serão apresentados na Seção 7.

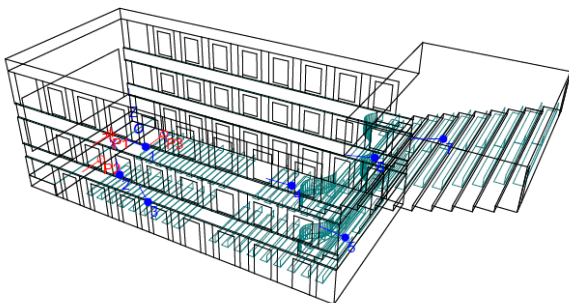


Figura 15: Vista dimétrica do modelo virtual C1980, no *software* Odeon v.11.

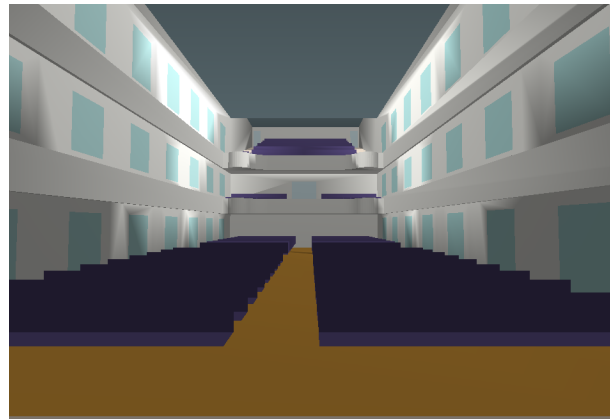


Figura 16: Vista 3D interna do modelo virtual C1980, no *software* Odeon v.11.

7. Resultados e discussões

Durante a realização de qualquer ensaio é importante considerar a possibilidade de haver incertezas nos resultados, devido ao método de medição escolhido por exemplo. Para o método da resposta impulsiva integrada, a NBR ISO 3382-1 [5] especifica o cálculo do desvio padrão do resultado da medição $\sigma(T_{30})$, sendo expresso pela equação:

$$\sigma(T_{30}) = 0,55T_{30}\sqrt{\frac{1,152}{NBT_{30}}}, \quad (2)$$

em N é o número de combinações fonte-receptor e B é a largura da banda em Hertz. Considerando $N = 18$ combinações e uma análise da frequência em bandas de 1/1 oitava, a Figura 17 apresenta T_{30} médio espacial e seu desvio padrão em cada banda de frequência. As curvas tracejadas representam a média espacial em relação às posições da fonte. Note que apesar de se ter uma diferença visível no T_{30}

nas bandas de 63 Hz, 125 Hz e 250 Hz, o maior desvio $\sigma(T_{30})$ é de 0,0212. Portanto, é possível constatar, de forma geral, que a medição obteve valores uniformes com poucas variações ao longo de toda a faixa de frequência em análise.

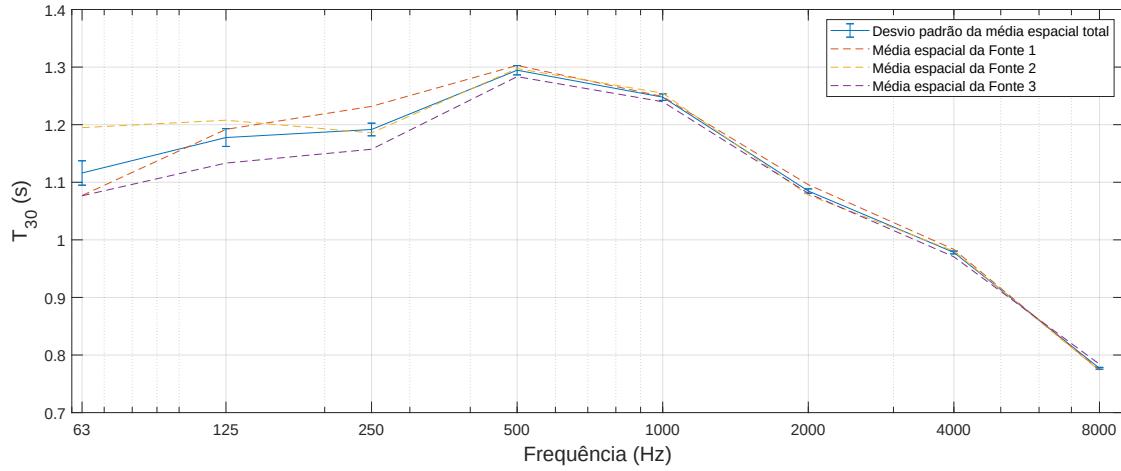


Figura 17: Tempo de reverberação, T_{30} , médio espacial e desvio padrão da medição.

Como mencionado na Seção 6 a curva de T_{30} medida foi tomada como base para o ajuste do modelo simulado. Para a simulação considerou-se apenas a faixa entre 125 Hz até 8000 Hz, pois a maioria dos materiais catalogados não possuem informação de absorção na banda de 63 Hz, além do fato de que o *software* apresenta resultados mais precisos nas médias e altas frequências. A Figura 18 mostra os coeficientes de absorção dos materiais aplicados na sala C2020 simulada originais e ajustados. As curvas mais espessas correspondem aos materiais que foram alterados para conseguir obter a curva de T_{30} ajustada apresentada na Figura 19 e as curvas tracejadas representam os novos valores de α dos materiais alterados.

A fim de quantificar a faixa de erro do resultado obtido pela simulação em comparação com a medição, verificou-se o Erro Quadrático Médio, obtido pela expressão:

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{7} \sum_{b=1}^7 (T_{30\text{medido}} - T_{30\text{simulado}})^2}, \quad (3)$$

no qual resultou em um $EQM = 0,00047$, ou em porcentagem $EQM = 0,047\%$, valor que descreve uma pequena faixa de erro. Os materiais ajustados foram utilizados para a simulação da Sala C1980 e também foram adicionados alguns materiais no modelo, uma vez que nessa época algumas superfícies possuíam materiais distintos dos utilizados atualmente. A Tabela 3 apresenta as superfícies e os materiais adicionados na simulação da Sala C1980.

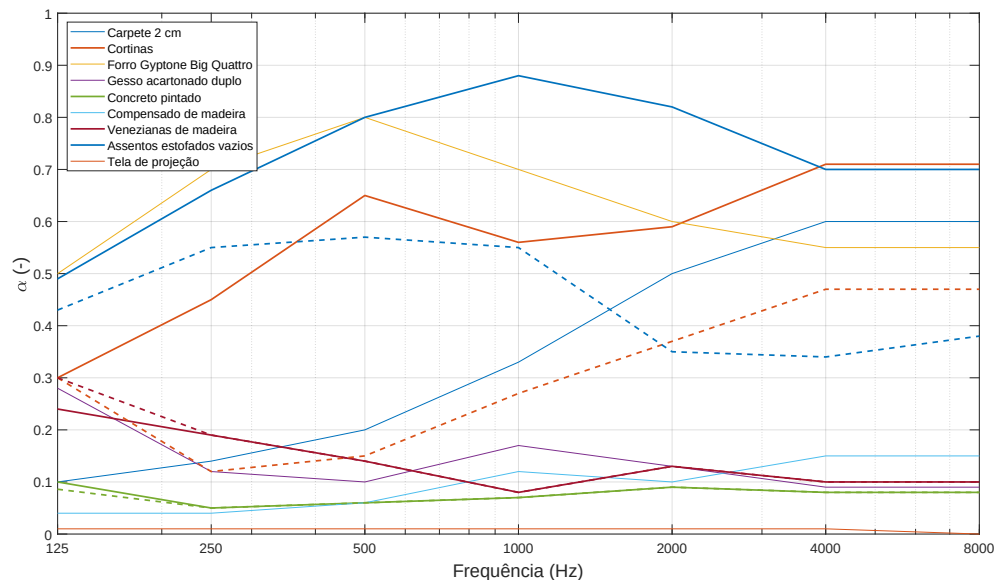


Figura 18: Coeficientes de absorção dos materiais aplicados na sala C2020 originais (linha cheia) e ajustados (linha tracejada).

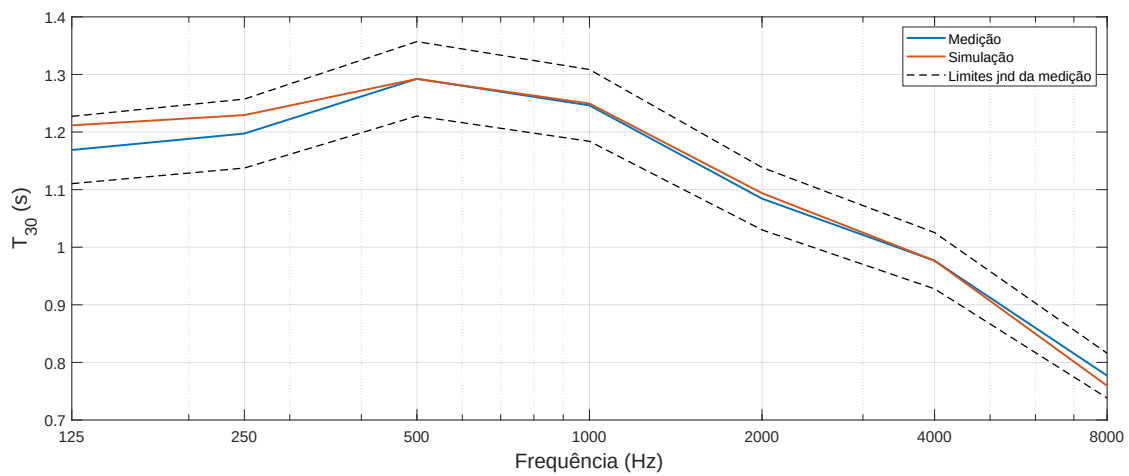


Figura 19: Comparativo do tempo de reverberação T_{30} medido e simulado.

Tabela 3: Materiais aplicados na Sala C1980, que não estão presentes na sala atual.

Material	Superfície	Frequência (Hz)							
		125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Cortinas a 90 mm da janela	Janelas	0,06	0,1	0,38	0,63	0,7	0,73	0,73	
Compensado de madeira	Portas laterais	0,38	0,24	0,17	0,1	0,08	0,05	0,05	
Assentos revestidos com couro	Assentos	0,4	0,5	0,58	0,61	0,58	0,5	0,5	

O resultado do T_{30} , em função da frequência, para a Sala C1980 pode ser observado no gráfico da Figura 20, que faz um comparativo com a curva da Sala C2020, obtida a partir de ajustes tomando como base a medição *in situ*. Estes resultados não são definitivos e apenas representam uma etapa inicial do processo de reconstrução da cinemateca Capitólio, já que é imprescindível avaliar outros parâmetros objetivos como clareza (C_{80}), definição (D_{50}), STI, entre outros. Além disso, na área de reconstrução acústica são poucas as informações de apoio disponíveis para melhor compreender as características acústicas de ambientes que não existem mais, portanto a obtenção de resultados condizentes em modelagens acústicas depende diretamente de uma investigação minuciosa dos materiais utilizados

na construção do local e do entendimento da acústica do local durante os períodos analisados [13].

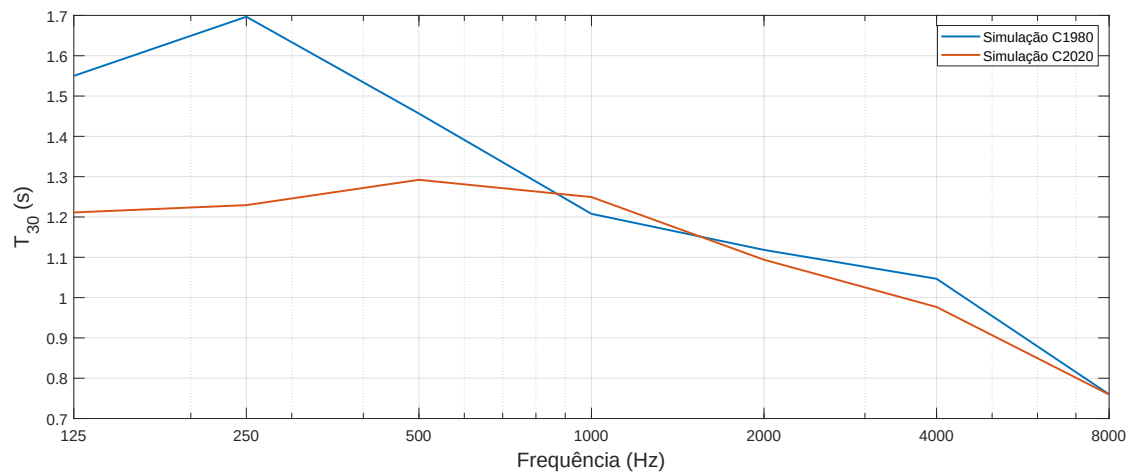


Figura 20: Comparativo da curva de T_{30} dos modelos simulados C1980 e C2020.

Devido o *software* Odeon ser um sistema *black box* é importante analisar os resultados não somente de forma quantitativa como também qualitativa, já que a percepção sonora pode trazer informações que não são compreensíveis apenas analisando os gráficos. Nesse sentido foram desenvolvidas algumas auralizações de teste utilizando um sinal anecóico de fala e a HRTF (*Head Related Transfer Function*) da cabeça artificial KEMAR. Os arquivos de áudio das auralizações utilizando as respostas impulsivas medida e simulada na Sala C2020 podem ser acessadas neste [link](#) e com elas é possível escutar, via fones de ouvido, as diferenças sutis mas ainda perceptíveis entre a medição e a simulação. O próximo passo para o desenvolvimento da reconstrução acústica da Sala C1980 é realizar uma nova série de ajustes dos parâmetros objetivos da Sala C2020 a partir de um teste subjetivo com um júri treinado. Com os dados obtidos será possível ajustar com maior precisão os parâmetros objetivos e assim obter auralizações que estejam mais próximas da realidade.

Referências

1. MASCARELLO, Fernando. *História do cinema mundial*. [S.l.]: Papirus Editora, 2006. 430 p.
2. BRANDÃO, Eric. *Acústica de Salas: Projeto e Modelagem*. 1 (rev). ed. São Paulo: Blucher, 2016. ISBN 978-8521210061.
3. CAPITÓLIO. *Acervo da Cinemateca Capitólio*. 2022. Acesso em 03 de maio de 2022. Disponível em: <http://capitolio.org.br/portal>.
4. IPHAE. *Bem Tombado – Antigo Cine Teatro Capitólio*. 2006. Acesso em 20 de junho de 2023. Disponível em: <http://www.iphae.rs.gov.br/Main.php?do=BensTombadosDetalhesAc&item=20802>.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Medição de parâmetros de acústica de salas: Parte 1: Salas de espetáculo*. 1. ed. Rio de Janeiro, 2017. 34 p. Acesso em 02 out. 2022.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral*. Rio de Janeiro, 2019. 25 p. Acesso em 01 jun. 2023.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Medição de parâmetros de acústica de salas: Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns*. 1. ed. Rio de Janeiro, 2017. 34 p. Acesso em 02 out. 2022.
8. ODEON. *Version 11 User Manual*. 2. ed. Denmark, 2011. 153 p.
9. RAMSETE. *RAMSETE User Manual*. 1. ed. Itália. 101 p.
10. SAINT-GOBAN. *Gyptone Big Quattro*. São Paulo. 3 p.
11. SABINE, Wallace Clementine. *Collected papers on acoustics*. [S.l.]: Harvard University Press, 1922. 300 p.
12. BISTAFA, Sílvio R. *Acústica Aplicada ao Controle de Ruído*. São Paulo: Blucher, 2018. 437 p.
13. FOTEINOU, Aglaia; MURPHY, Damian; COOPER, J.P.D. An acoustic reconstruction of the house of commons, c. 1820–1834. *Acoustics*, v. 5, p. 193–215, 2023. doi: <https://doi.org/10.3390/acoustics5010012>.