

28_31

ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS E AMBIENTAL A ACÚSTICA NO PROJETO DE CONSERVAÇÃO, RESTAURO, REQUALIFICAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DO TEATRO NACIONAL DE SÃO CARLOS

Octávio Inácio

Engenheiro Especialista em Acústica pela OE

InAcoustics – Engenharia Acústica, Vibrações e Ambiente, Lda.

A ACÚSTICA E O PATRIMÓNIO

O Teatro Nacional de São Carlos (TNSC), inaugurado em 1793, é um dos mais antigos teatros da Europa e o único teatro lírico em Portugal. Localizado na zona do Chiado em Lisboa, destina-se à realização de grandes produções de ópera, concertos sinfónicos, corais e bailado, tendo sido classificado como Monumento Nacional em 1996. Após diferentes obras realizadas durante a sua existência – 1877, 1936-40 e 1992 –, o TNSC carecia de uma intervenção significativa que o atualizasse e adaptasse às exigências do séc. XXI.

Em 2023 deu-se início ao projeto de conservação, restauro, requalificação e modernização dos edifícios e equipamentos do Teatro Nacional de São Carlos, cuja obra está atualmente em curso. Trata-se de um projeto de enorme complexidade técnica e simbólica, que visa assegurar que o TNSC se mantém como uma referência da vida cultural portuguesa. Num projeto com estas características, a Engenharia Acústica assume um papel preponderante, ao lado da Arquitetura e da especialidade de Conservação e Restauro.

A par da salvaguarda do património edificado, fundamental a um monumento nacional, alia-se a preservação do património acústico. Este conceito, muitas vezes ignorado, tanto

para os edifícios históricos como para as paisagens sonoras no ambiente exterior, é já uma realidade em diversos países. Em Itália, em particular, são várias as salas de espetáculo (particularmente de ópera) cujas características acústicas foram registadas para a posteridade, dado o receio da ocorrência de catástrofes (naturais ou não) que as destruam, como já aconteceu, por exemplo, no La Scala de Milão ou no La Fenice em Veneza. Este tipo de preservação patrimonial acústica foi usado no âmbito da presente intervenção no TNSC e passou pela medição exaustiva das características acústicas tanto da Sala Principal como de outros espaços de performance neste edifício. Este levantamento incluiu a gravação das funções de resposta ao impulso, mono e binaurais [1], para posterior utilização em processos de auralização que permitem recriar, em ambiente virtual, a acústica das salas do TNSC. Felizmente, a academia começou já em Portugal a dar os seus primeiros passos com a aplicação destes procedimentos a outras salas de espetáculos [2].

Com estas premissas em mente, o conceito da intervenção da especialidade de Engenharia Acústica, neste edifício, fundamentou-se na ponderação de qual equilíbrio estabelecer entre a preservação das características acústicas atuais e as melhorias que o programa preli-

minar do concurso de conceção sugeriu e que tanto músicos como público reclamam. Esta reflexão torna-se transversal aos edifícios que constituem o TNSC, a todos os espaços e a todas as especialidades envolvidas no projeto, dada a evidência da sensibilidade da questão Acústica, tanto para a qualidade sonora como para a saúde auditiva dos músicos que ali trabalham. Por outro lado, a evolução da Música e, com esta, das salas de espetáculo leva a novas exigências e subtilezas na vivência e prática musical e operática que não são as mesmas de há dois séculos. De facto, no TNSC canta-se, dança-se e toca-se, hoje, música de diversas épocas, acompanhadas de encenações distintas, que requerem características acústicas específicas e uma funcionalidade ágil e adaptável. O dilema entre o preservar *tout court* e o alterar *ad libitum* é evidente, mas desafiante, tendo-se tornado o fio condutor do desenvolvimento do projeto de Acústica.

CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA OBJETIVA E SUBJETIVA

Previamente ao início do projeto foi realizada uma campanha exaustiva de ensaios acústicos a todo o edifício, passando pelo isolamento sonoro a sons de condução aérea



1>

e estrutural até aos níveis de ruído residual, mas com um maior foco nas características da acústica interna da Sala Principal. Com base nos resultados destes ensaios, não só é possível ter um ponto de partida para uma possível otimização, como se pode comparar de forma objetiva a situação anterior com a pós-intervenção. Para este efeito, foram utilizados os procedimentos descritos na norma NP EN ISO 3382-1: 2016, com a inclusão de outros métodos e equipamentos de medição. Foram utilizadas fontes sonoras omnidirecionais (Lookline DL-303 e ODEON Mini) e microfones de diferentes tipos (omnidirecionais, figura-de-oito e *dummy-head*

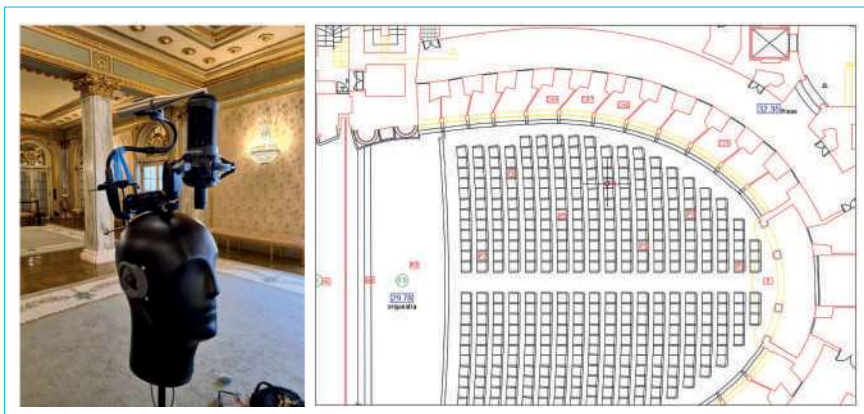
para as gravações binaurais). Após calibração dos equipamentos, foram emitidos sinais de varrimento exponencial em frequência (sinusoidal) entre 40 Hz e 20 kHz, em três posições do palco (e fosso, quando aplicável) para cada um de dois tipos de configuração do palco, ópera ou concerto. Os sinais capturados pelos microfones foram então processados através da sua deconvolução com sinal de excitação invertido, para posterior cálculo dos parâmetros acústicos relevantes. A Figura 2 mostra o tipo de equipamento utilizado na captura dos sinais de excitação e a localização de alguns dos pontos de medição, distribuídos apenas por um lado da sala (possibilitado pela

simetria da mesma), na plateia, palco e em diferentes ordens dos camarotes.

Resumir as centenas de resultados obtidos, para as diferentes configurações e pares de posições fonte-recetor, é tão redutor como difícil. Mas focando-nos em alguns parâmetros essenciais é possível ter uma noção da acústica deste espaço:

- O tempo de reverberação (média do T30 entre 1000 Hz e 2000 Hz) é de 1,0 s para a configuração de ópera (com fosso de orquestra e cenário em palco) e de 1,1 s para a configuração de concerto (sem fosso de orquestra e com concha de orquestra em palco);
- A variação do tempo de reverberação em toda a plateia não é muito significativa, mas o mesmo não acontece com o nível sonoro que varia substancialmente em certas zonas da plateia.
- A sala apresenta uma clareza ($C80 \approx 4$ dB) e definição ($D50 \approx 60$ %) elevadas e com pequena variação entre plateia e camarotes.

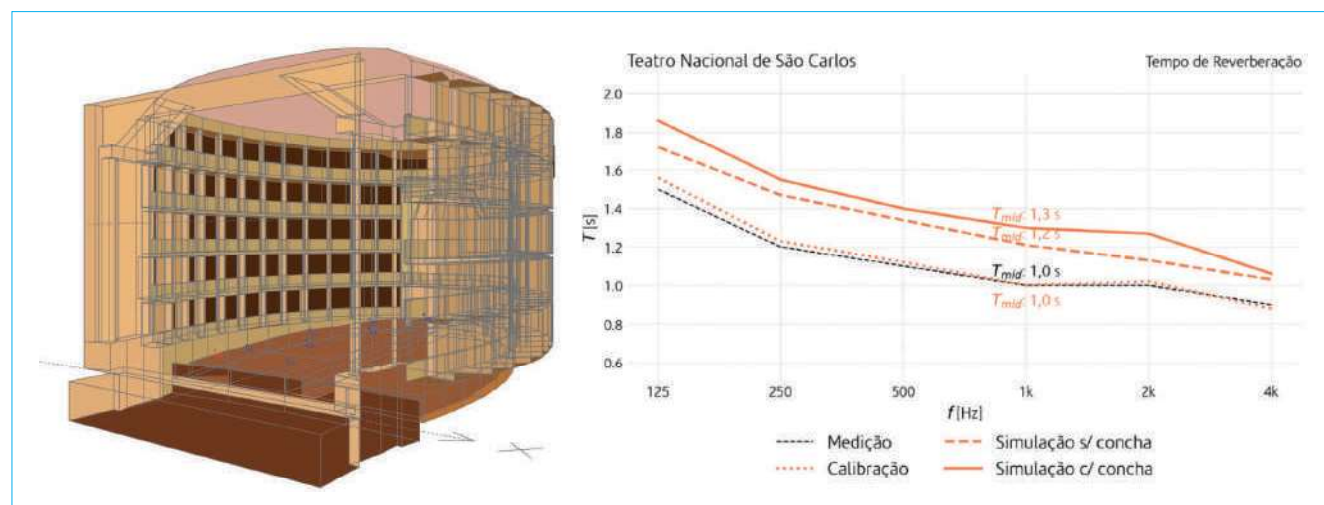
Subjetivamente, estas características objetivas traduzem-se em sensações auditivas que, não sendo iguais para cada ouvinte, gozam de alguma uniformidade nas opiniões recolhidas a frequentadores mais ou menos assíduos desta sala. A excelência da acústica desta sala destaca-se pela qualidade da distinção do detalhe musical, instrumental e da voz. O baixo tempo de reverberação, típico das salas de ópera setecentistas, providencia essa elevada definição e inteligibilidade do texto cantado e clareza do discurso musical (algumas das *premieres* das óperas de Mozart realizaram-se precisamente em salas com tempo de reverberação desta magnitude [4]). No entanto, não é necessariamente adequado a outros períodos mais recentes da história da música. As óperas românticas, por exemplo, particularmente as wagnerianas, requerem já uma maior envolvimento e massa sonora incompatível com aquela característica, pelo que a tendência atual é a de criar condições acústicas com um tempo de reverberação entre 1,3 s e 1,8 s [5], o que varia em função do volume e capacidade



2>

> Figura 1: Teatro Nacional de São Carlos (fachada), 1940-1980.

> Figura 2: Equipamento utilizado na gravação dos sinais de excitação e planta com a localização dos pontos de medição.



3>

das salas. As obras sinfônicas requerem ainda valores do tempo de reverberação superiores.

O DIMENSIONAMENTO

Uma tal modificação do tempo de reverberação da sala, por muito que se adequasse aos padrões atualmente válidos para novas salas de concerto e de ópera, não seria compatível com a preservação da geometria e materiais que a preservação deste património requer. A forma elíptica da plateia, claramente inspirada na obra de Pierre Patte [6], é responsável pela pouca uniformidade do nível sonoro, com a focalização das ondas sonoras a centrar-se nos focos geométricos da elipse. Se neste último caso não há alterações significativas no âmbito desta intervenção, já o pouco equilíbrio do proveniente do palco e do fosso de orquestra em algumas posições, sobretudo entre plateia e camarotes, pode ser melhorado com base na alteração da dimensão do fosso de orquestra.

AS PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO

A otimização da acústica de uma sala de espetáculos inicia-se pela necessidade de se obter silêncio. Este requisito é de todos o mais

exigente e o mais necessário. Toda a qualidade acústica remanescente é suportada por níveis de ruído inaudíveis. No entanto, tratando-se de um projeto de conservação e restauro, requalificação e modernização, existem condicionantes muito relevantes para a obtenção dessas condições, tanto patrimoniais como financeiras. Com a consciência desses limites, as soluções previstas no projeto de Acústica tiveram o propósito de maximizar as condições de isolamento sonoro e controlo de ruído e vibrações, onde tal é possível, para assegurar esse fator de qualidade primordial. No entanto, apesar de tal exigência, a fruição de uma sala de ópera e da música que aí se toca não vive apenas da acústica do espaço, mas também da sua arquitetura. O respeito pela arquitetura e o reconhecimento da qualidade do património existente foram os pontos principais que orientaram a abordagem ao projeto de Acústica. De uma forma geral, pretendeu-se otimizar a acústica de todos os espaços, novos e existentes. Neste artigo referem-se apenas algumas das propostas de intervenção na Sala Principal:

- Manter as principais características de acústica interna originais, como parte da preservação do património edificado, mas promovendo uma intervenção controlada que permita otimizar as condições acústi-

cas, tanto para ópera, como para música sinfónica:

- Aumento da inclinação do pavimento da plateia, de modo a melhorar a visibilidade e diminuir o efeito de absorção por ressonância entre cadeiras (seat-dip effect);
- Revelação ou a ocultação de elementos cénico-decorativos (essencialmente painelamentos) como os presentes na boca-de-cena e no camarote real, consoante se pretenda manter a Acústica atual ou maximizar a reverberação e ressonância da sala, respetivamente;
- Otimização do estofado das cadeiras da plateia, mantendo as costas e fundo do assento em madeira;
- Alteração do revestimento dos passamãos e parapeitos dos camarotes, mantendo um acabamento em tecido tipo veludo, mas sem o núcleo em espuma;
- Alteração do revestimento das paredes dos camarotes que requeiram intervenções de restauro, optando-se por tecidos do tipo seda, sem estofado em espuma;
- Presença de um conjunto de elementos refletoras no arco-do-proscénio (facilmente amovíveis, se necessário) e com a presença ou não, da concha acústica já existente, para concertos de música sinfónica. A concha acústica atualmente

> Figura 3: Imagem do modelo geométrico de cálculo tridimensional e resultados das previsões com a implementação das propostas de intervenção.

utilizada pelo TNSC será mantida apesar de se propor a sua afinação ao nível da posição e ângulos de orientação dos painéis individuais.

- Melhorar as condições espaciais e acústicas do fosso de orquestra, com a consequente melhoria das condições de trabalho dos músicos, utilizando superfícies absorventes e difusoras que não só equilibram o som no fosso e na sua propagação para a sala, como protegem os músicos dos níveis sonoros elevados e favorecem a comunicação musical entre os cantores em palco e os músicos e maestro no fosso. Neste sentido, propõe-se a introdução de um elemento móvel difusor que permita redimensionar este espaço em função das necessidades de cada tipo de concerto.
- Melhorar o isolamento sonoro em relação ao exterior:
 - Os vãos exteriores que ladeiam a torre-de-cena, que se preservam e mantêm, serão duplicados pelo interior com caixilhos novos e vidros de elevada eficiência acústica, portas ou portadas, consoante o caso, que reduzem o problema da transmissão sonora do ruído de tráfego e dos transeuntes das vias adjacentes ao edifício;
 - A diminuição do problema de ruído estrutural originado pela circulação do elétrico na Rua Duques de Bragança e Largo do Picadeiro, derivado do contacto direto entre a via de tráfego e o edifício, apenas poderá

ser realizada por uma intervenção pela entidade gestora desta infraestrutura ferroviária. Ao longo do projeto foi verificada a impossibilidade de atuação diretamente no edifício, não só devido à complexidade técnica, mas também ao custo da solução associada à sua implementação.

O dimensionamento das soluções acústicas foi acompanhado pela modelação tridimensional do edifício, tanto para o cálculo do isolamento sonoro entre todos os espaços, como para a determinação da propagação sonora para o interior e exterior do edifício proveniente de equipamentos ruidosos e para avaliação dos parâmetros de qualidade acústica das várias salas. No caso da Sala Principal, com um volume de aproximadamente 5600 m³ (sem torre-de-cena), a utilização do *software* de modelação por traçado de raios e fonte-espelho foi fundamental para orientar a tomada de decisão. A Figura 3 representa o modelo geométrico utilizado no cálculo e o resultado das previsões (valores médios) efetuadas.

DO PROJETO À OBRA

Como em qualquer obra, assegurar a correta implementação das medidas preconizadas em projeto é um desafio. Numa obra deste tipo, num edifício com mais de 200 anos, na qual, à medida que as intervenções se iniciam, se

revelam inesperadamente novos elementos patrimoniais que não podem ser alterados, esse desafio obriga a uma presença em obra frequente dos projetistas, nomeadamente de Acústica. Nessa interação, é necessário adaptar, corrigir e por vezes sacrificar opções de projeto, em função do melhor compromisso que devolva à cidade uma das mais antigas e excecionais salas de ópera da Europa. ■

REFERÊNCIAS

- [1] Inácio, O. & José, D. – TEATRO NACIONAL DE SÃO CARLOS - ANOTHER OPPORTUNITY FOR IMPROVEMENT OF THE MAIN PORTUGUESE OPERA HOUSE – 11th International Conference on Auditorium Acoustics 2023, 28-30 September 2023, Stavros Niarchos Foundation Cultural Center, Athens, Greece.
- [2] Alarcão, D., Pinto, A., Marramaque, G., Mendonça, F. – REVERBDATA – A RIR DATABASE OF PORTUGUESE ARCHITECTONIC SPACES – XIII Congresso Ibérico de Acústica, 55.º Congresso Español de Acústica, TECNIAÚSTICA 2024, 11-13 de Setembro, 2024, Faro, Portugal.
- [3] NP EN ISO 3382-1: 2016 – Acústica – Medição de parâmetros de acústica de salas – Parte 1: Salas de espetáculos.
- [4] Meyer, J. (1986) – Some problems of opera house acoustics. Proceedings of the Vancouver Symposium on Acoustics and Theatre Planning for the Performing Arts, August, pp. 13–18.
- [5] Barron, M. (2010) – Auditorium Acoustics and Architectural Design, Spon Press, Second Edition.
- [6] Pierre Patte (1782) – De l'ordonnance la plus avantageuse à une salle de spectacles, relativement aux principes de l'optique & de l'acoustique, Paris.

