XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8905

Reverberação sonora no interior da basílica de Nossa Senhora da Conceição Aparecida com o uso de cobogós em suas fachadas

Sound reverberation inside the Basilica of Our Lady of Aparecida with the use of cobogós on its facades

Cristina Yukari Kawakita Ikeda
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT | São Paulo | Brasil | cristinak@ipt.br
Fulvio Vittorino
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT | São Paulo | Brasil | fulviov@ipt.br
Marcelo de Mello Aquilino
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP, IPT | São Paulo | Brasil | aquilino@ipt.br

Resumo

Este estudo analisa a qualidade acústica na nave central da Basílica de Nossa Senhora da Conceição Aparecida, enfocando o tempo de reverberação (TR) e o índice da inteligibilidade da fala (STI). Realizaram-se medições in loco em 24 pontos distribuídos pelas quatro naves, complementadas por simulações computacionais, que foram previamente ajustadas com os dados experimentais. Os resultados mostram altos valores de TR, particularmente nas frequências importantes para a fala (< 2000 Hz), devido ao grande volume interno e às superfícies majoritariamente refletoras. As simulações do índice STI mostram que a inteligibilidade possui desempenho satisfatório apenas nas áreas próximas à fonte sonora. O ambiente tem limitações acústicas para a comunicação verbal. Entretanto o sistema de sonorização contribui para mitigar este entrave. O estudo contribui para uma melhor caracterização acústica do maior espaço religioso do Brasil e a ampliação do conhecimento sobre a acústica de grandes ambientes de culto.

Palavras-chave: Acústica arquitetônica. Tempo de reverberação. Inteligibilidade da fala. Acústica de igrejas. Basílica de Aparecida.

Abstract

This study analyzes the acoustic quality in the central nave of the Basilica of Our Lady of Aparecida, focusing on the reverberation time (RT) and the speech intelligibility index (STI). In situ measurements were performed at 24 points distributed throughout the four naves, complemented by computer simulations, which were previously adjusted with experimental data. The results show high RT values, particularly at frequencies important for speech (< 2000 Hz), due to the large internal volume and predominantly reflective surfaces. STI index simulations show that intelligibility performs satisfactorily only in areas close to the sound source. The environment has acoustic limitations for verbal communication. However, the sound system helps to mitigate this obstacle. The study contributes to a better acoustic characterization of the largest religious space in Brazil and the expansion of knowledge about the acoustics of large worship environments.

Keywords: Architectural acoustics. Reverberation time. Speech intelligibility. Church acoustics. Basilica of Our Lady.

IKEDA, C. Y. K.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M. M, A. Reverberação sonora no interior da basílica de Nossa Senhora da Conceição Aparecida com o uso de cobogós em suas fachadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8905

INTRODUÇÃO

A construção da nova Basílica de Nossa Senhora da Conceição Aparecida, em Aparecida (SP), teve início em 11 de novembro de 1955 [1]. Ela foi oficialmente inaugurada pelo Papa João Paulo II em 1980. Com o formato de uma cruz grega, o prédio de tijolos vermelhos é a segunda maior basílica do mundo, ficando atrás apenas da Basílica de São Pedro, localizada na Cidade do Vaticano. A cúpula alcança uma altura de 70 m, enquanto a área total da basílica é de aproximadamente 18.000 m², com capacidade para receber até 45.000 fiéis [2]. Na área das naves da basílica, as aberturas de janela são preenchidas por elementos vazados de concreto (cobogós) tanto no pavimento térreo como no pavimento superior, conforme ilustrado pela Figura 1.

Figura 1: Cobogós existentes nas aberturas de janela da Basílica.



Fonte: Os autores

O objeto do presente artigo é a apresentação dos resultados de estudos de avaliação do tempo de reverberação existente em setembro de 2025, na nave central, local onde os fiéis ficam para assistir as missas. O tempo de reverberação é o tempo (em segundos) que o som de uma fonte leva para decair seu nível em 60 dB após ser interrompida. O efeito de prolongamento do som, causado pela reverberação, é considerado um dos principais parâmetros acústicos para caracterização de ambientes internos.

A reverberação de um ambiente fechado é definida pela energia das ondas sonoras que se refletem em suas superfícies internas. As características de absorção sonora dos materiais de revestimento resultam em valores distintos para cada banda de frequência [3].

O volume do recinto tem impacto sobre o TR. À medida que o volume aumenta, maior será o tempo de reverberação. Outra variável que influencia o TR é a absorção sonora no recinto. Quanto mais extensa for a área de materiais absorvedores sonoros, o tempo de reverberação será menor. Devido ao seu grande volume interno e ao predomínio de superfícies refletoras em seus revestimentos, a basílica tende a apresentar valores elevados de tempo de reverberação. Este estudo tem como

objetivo examinar o ambiente sob a rperspectiva tanto da fala como da música, uma vez que o espaço comporta tanto sermões quanto o canto. É importante destacar que a acústica em espaços religiosos é influenciada por condicionantes históricas e litúrgicas. Templos de grandes dimensões e alta reverberação têm sido historicamente ligados à liturgia da Igreja Católica Apostólica Romana [4] que adaptou o culto e o canto gregoriano a esses espaços com tempo de reverberação elevado. A sustentação das notas e o prolongamento das sílabas atuavam como uma estratégia natural para melhorar a inteligibilidade.

A reverberação geralmente tem um impacto negativo na percepção das consoantes pois provoca uma extensão da energia espectral dos sons vocálicos, que por sua vez mascara os sons consonantais, especialmente as consoantes finais das palavras [5]. O tempo de reverberação recomendado varia conforme a função principal projetada para o interior sacral (palavra falada, canto, música de órgão, por exemplo) dependendo do volume do recinto.

Dependendo do volume da sala, o tempo de reverberação deve estar entre 0,8 e 1,0 s para que os sermões sejam completamente compreendidos. Os tempos de reverberação entre 2,0 e 2,2 s são ideais para a música de órgão, a fim de melhorar a fusão dos sons. É aqui que os tempos ideais de reverberação para música e fala divergem [6].

METODOLOGIA

Este trabalho é caracterizado como um estudo de caso experimental vinculado à simulação computacional.

De modo geral, o trabalho realizado seguiu as etapas a seguir:

Para ajustar as propriedades acústicas dos materiais a serem usados no modelo digital e avaliar as condições sonoras do recinto, o tempo de reverberação foi medido em 24 posições ao longo dos quatro eixos da Basílica considerando 6 pontos por nave (Sul, Oeste, Norte e Leste);

- As medições acústicas foram conduzidas de acordo com as diretrizes gerais da norma ISO 3382-1, empregando a técnica do som interrompido, com duração de 30 segundos por aquisição. Os dispositivos utilizados incluíram uma fonte sonora omnidirecional (dodecaédrica) colocada logo abaixo do presbitério (área do altar) a uma altura de 1,50 m, um sonômetro calibrado posicionado a 1,20 m do chão (altura do ouvido de um receptor sentado), um calibrador de nível sonoro e um amplificador com gerador de ruído.
- Para apresentação dos diagramas de distribuição espacial do tempo de reverberação (TR) foi desenvolvido um modelo digital da Basílica, ajustado por medições realizadas com a edificação vazia.
- Avaliação do indicador STI - Speech Transmission Index (Índice de Transmissão da Fala). Esse índice é um parâmetro que avalia a qualidade da transmissão da fala em um ambiente. Trata-se de uma ferramenta padronizada e bastante empregada para medir a inteligibilidade da fala. Um STI de 1 indica

inteligibilidade perfeita, ao passo que um STI de 0 indica que a informação foi totalmente perdida. Valores recomendados para esse parâmetro são maiores que 0,61.

SIMULAÇÃO ACÚSTICA

A geração dos diagramas de distribuição espacial do TR foi feita por meio de simulações acústicas executadas com o uso do software ODEON. Ele utiliza um modelo híbrido para simulação acústica. Primeiramente, define-se a energia sonora direta, que considera a atenuação da fonte ao receptor, levando em consideração a distância e a absorção do ar. Para as reflexões iniciais, o ODEON utiliza o Método de Imagem das fontes, que simula reflexões especulares ao gerar fontes virtuais para cada superfície refletora. Ademais, para as reflexões difusas iniciais utiliza-se o Método de Espalhamento Inicial, que gera fontes secundárias que auxiliam na resposta sonora. O Método de Radiosidade é empregado pelo software para as reflexões tardias. Nesta fase, os raios sonoros são enviados e refletidos com base em um modelo de espalhamento que leva em conta a textura e as dimensões das superfícies. Em vez de seguir um único raio, o modelo trata as superfícies como fontes de energia. Esse método de cálculo só é acionado após atingir um número específico de reflexões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

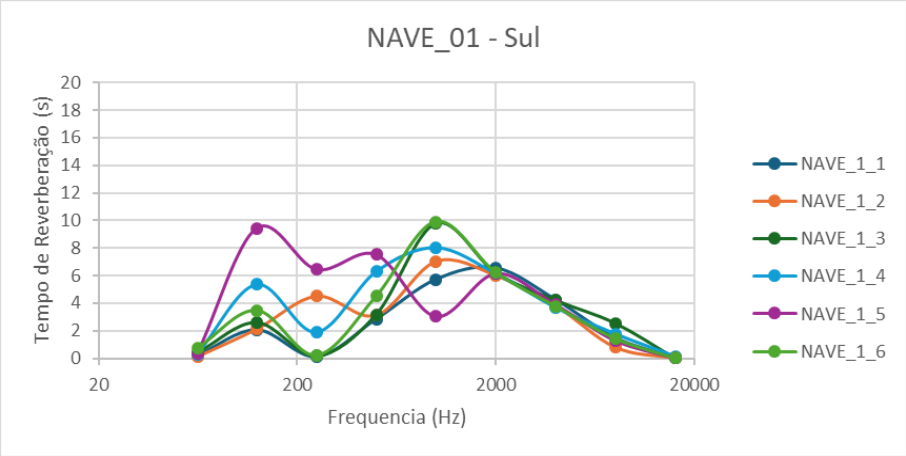
A seguir são apresentados os TR medidos e os diagramas de distribuição espacial resultantes das simulações acústicas.

TEMPOS DE REVERBERAÇÃO MEDIDOS

As figuras 2, 3, 4 e 5 mostram os valores obtidos para o tempo de reverberação para cada uma das 4 naves em que as medições foram executadas. As frequências abaixo de 2.000 Hz apresentam tempos de reverberação bastante variados, sendo essa a faixa em que se concentra a maior parte das frequências da fala humana. Isso é compreensível, considerando o grande volume do local. A média dos tempos de reverberação nos 24 pontos de medição ficou significativamente acima do recomendado na literatura, na qual valores para frequências abaixo de 2000 Hz são inferiores a 4 segundos.

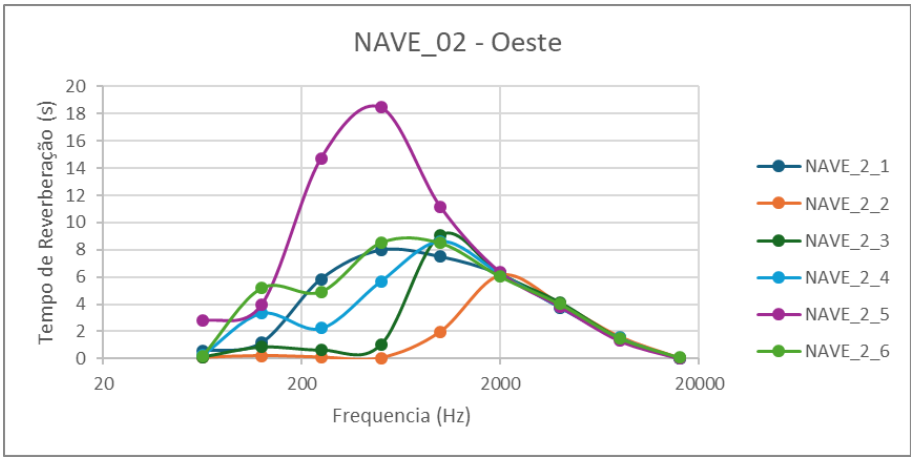
Os resultados experimentais confirmam estudos [7, 8] que indicam que grandes volumes arquitetônicos sem tratamento acústico costumam gerar campos sonoros muito reverberantes, com longos tempos de reverberação e baixos índices de inteligibilidade da fala. Isso torna esses espaços difíceis para a comunicação verbal sem reforço sonoro ou técnicas específicas de condicionamento acústico.

Figura 2: Valores de tempo de reverberação medidos em 6 pontos da Nave Sul



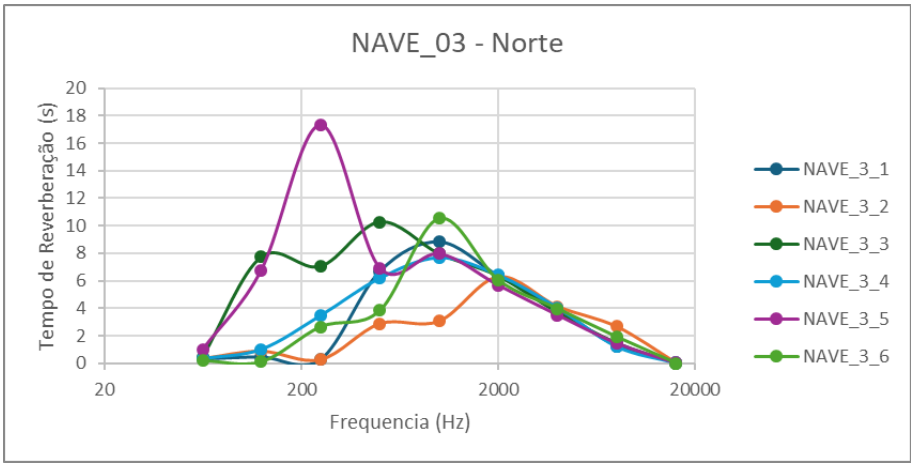
Fonte: Os autores.

Figura 3: Valores de tempo de reverberação medidos em 6 pontos da Nave Oeste



Fonte: Os autores.

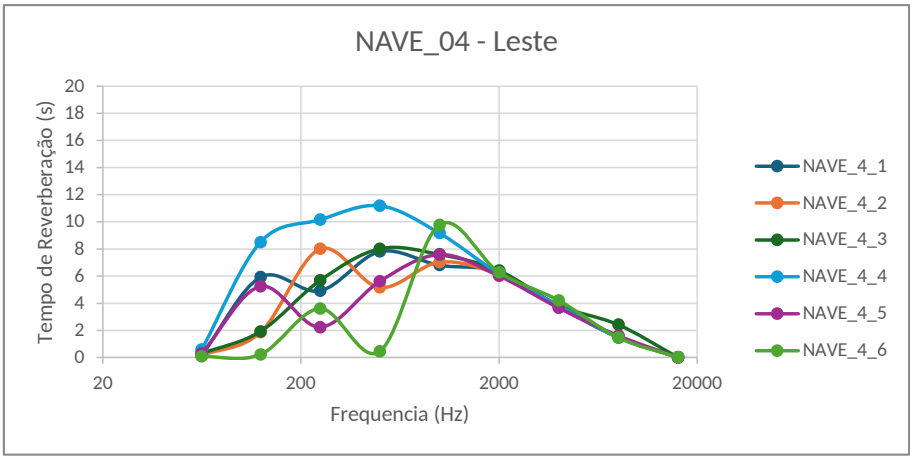
Figura 4: Valores de tempo de reverberação medidos em 6 pontos da Nave Norte



Fonte: Os autores.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8905

Figura 5: Valores de tempo de reverberação medidos em 6 pontos da Nave Leste

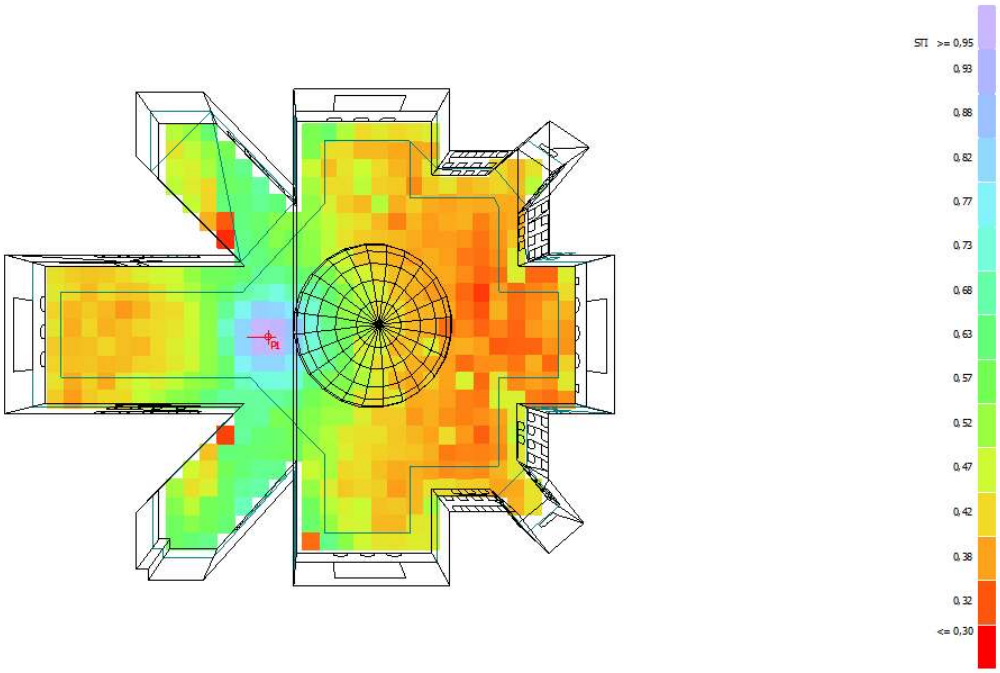


Fonte: Os autores.

RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Nas figuras 6, 7, 8 e 9 são apresentados os valores simulados do STI. O altar é circular e a fonte sonora foi colocada próxima a ele na parte frontal de cada uma das naves (norte, sul, leste e oeste). Valores adequados de STI foram obtidos apenas nas regiões com cores em verde e azul, áreas próximas à fonte nas quais o som direto prevalece em relação ao campo reverberante.

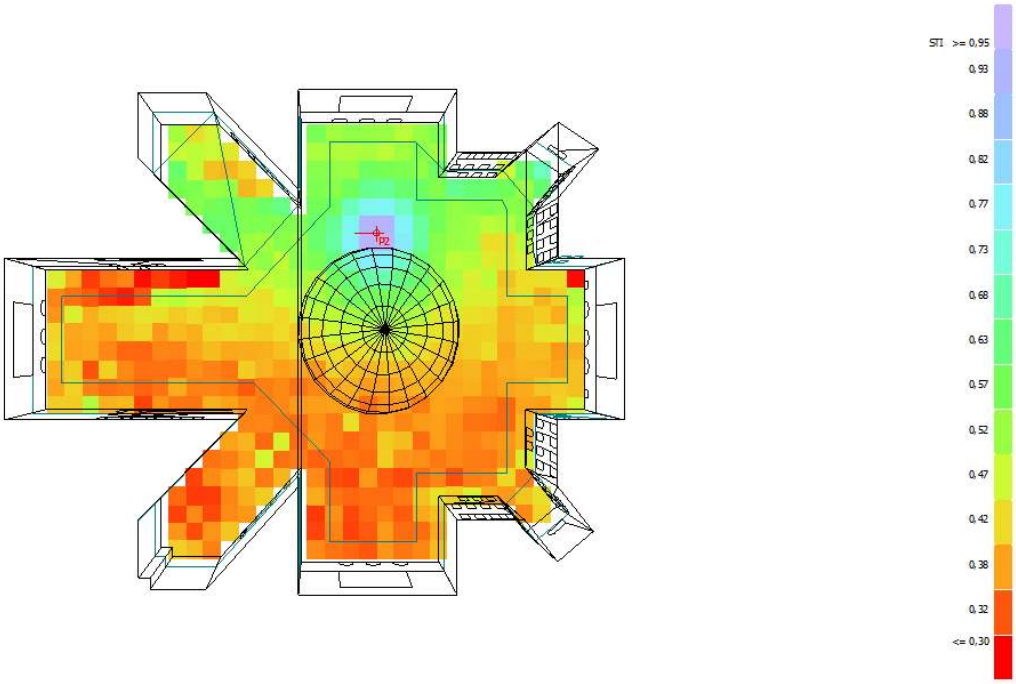
Figura 6: STI para fonte sonora posicionada na Nave Sul



Fonte: Os autores.

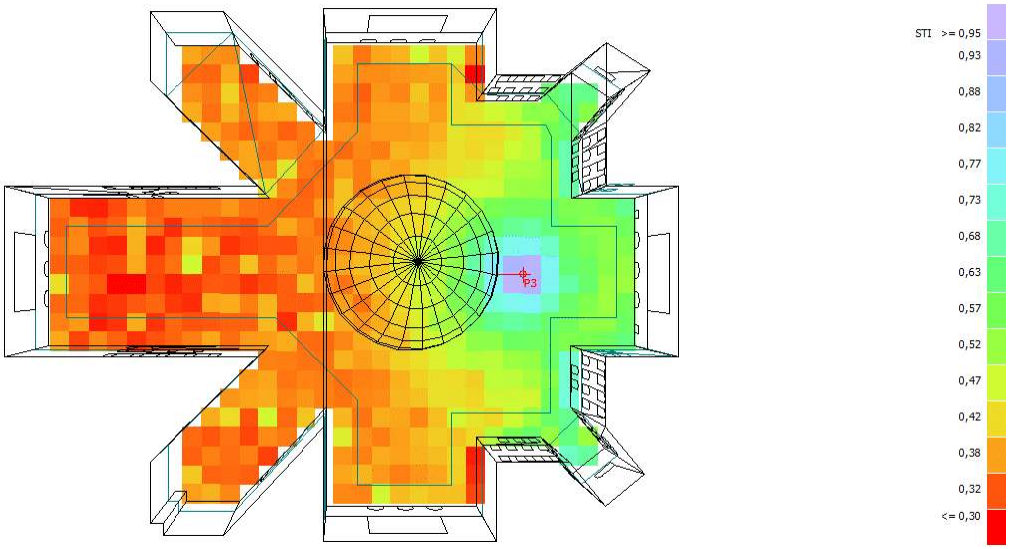
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8905

Figura 7: STI para fonte sonora posicionada na Nave Oeste



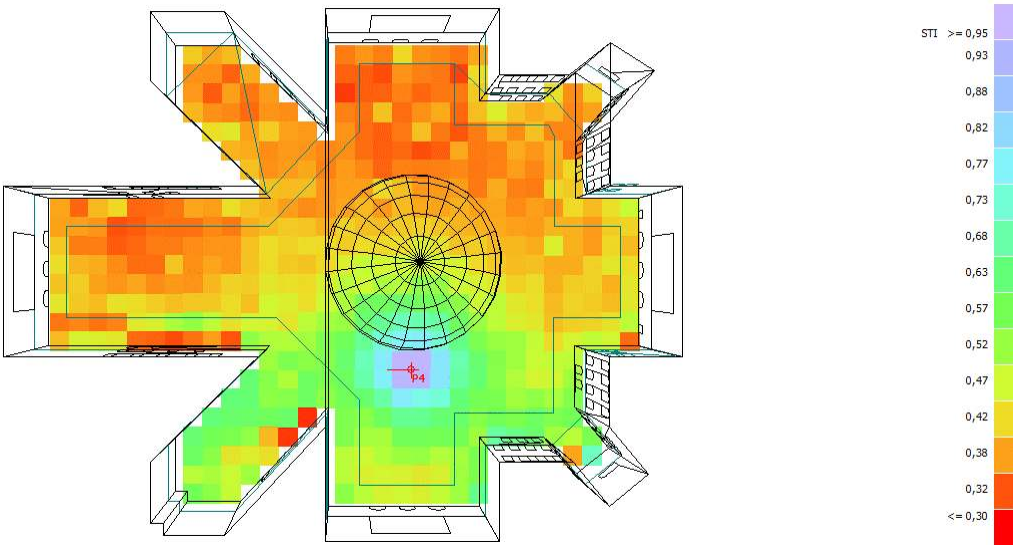
Fonte: Os autores.

Figura 8: STI para fonte sonora posicionada na Nave Norte



Fonte: Os autores.

Figura 9: STI para fonte sonora posicionada na Nave Leste



Fonte: Os autores.

Conforme o receptor se move para o fundo das naves (transição para cores amareladas e avermelhadas), devido ao TR elevado, o STI diminui para valores abaixo de 0,40, sinalizando uma inteligibilidade 'Pobre' ou 'Inaceitável', demonstrando que os elementos vazados (cobogós) presentes nas fachadas, apesar de oferecerem certa porosidade e conexão com o ambiente externo, não têm uma área de absorção equivalente capaz de mitigar a energia acústica interna tardia.

Sob a perspectiva litúrgica, um tempo de reverberação longo pode beneficiar a música sacra e o canto coral, pois intensifica a sensação de imersão sonora. No entanto, isso tende a comprometer a inteligibilidade da fala, tornando mais difícil entender sermões e leituras [7, 9].

CONCLUSÃO

Os resultados mostram que o comportamento acústico da nave central da basílica é fortemente influenciado por seu grande volume interno e pela presença predominante de superfícies refletoras. Isso leva a tempos de reverberação consideravelmente mais altos em quase toda a faixa de frequências analisada, especialmente abaixo de 2000 Hz, que é crucial para a inteligibilidade da fala. Os tempos de reverberação longos beneficiam a música, mas comprometem a inteligibilidade da fala.

A avaliação do índice STI indica que a inteligibilidade da fala é prejudicada na maior parte do espaço, sendo considerada aceitável apenas nas áreas próximas à fonte sonora. Baixos STI são característicos de espaços amplos com baixa absorção sonora e geometrias complexas. O sistema de reforço sonoro atualmente utilizado atua como um elemento mitigador dos efeitos decorrentes dos elevados tempos de reverberação observados no ambiente

É importante ressaltar a importância do uso de medições e simulações como ferramentas de diagnóstico e suporte à tomada de decisões em projetos acústicos. A pesquisa contribui para uma melhor caracterização acústica do maior espaço religioso do Brasil e ampliação do conhecimento sobre a acústica de grandes ambientes de culto. As grandes dimensões do edifico impõem desafios operacionais tanto para a realização das medições em campo como para a simulação computacional. Para trabalhos futuros, sugere-se a análise de soluções para tratamento acústico e a otimização do sistema de sonorização com o objetivo de aumentar a inteligibilidade nas zonas críticas sem comprometer a sustentação musical necessária para a liturgia sacra.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, a primeira autora utilizou as ferramentas Copilot versão bizchat.20260625.58.1, Gemini 3.5 Flash e ChatGPT GPT-5.5 para a revisão do texto. Após a utilização das ferramentas, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] CATEDRAL BASÍLICA DE NOSSA SENHORA APARECIDA, In: **WIKIPÉDIA**: a enciclopédia livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Catedral_Bas%C3%ADlica_de_Nossa_Senhora_Aparecida> . Acesso em: 24/04/2026

[2] Brazil's giant basilica is backdrop for Pope visit, In: **Reuters**. Disponível em: <https://www.reuters.com/ article/us-brazil-pope-basilica/brazils-giant-basilica-is-backdrop-for-pope-visit-idUSN0236838720070506/>. Acesso em: 24/04/2026

[3] ALARCÃO, D.; FAFAIOL, C.A.; BENTO COELHO, J.L. Acústica de salas de aula. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 23., 2010, Salvador. **Anais**... Salvador: SOBRAC, 2010. 1 CD-ROM.

[4] EGAN, M. David. **Architectural Acoustics**. New York: McGraw-Hill, 1988.

[5] CRANDELL,C.C.; SMALDINO, J.J. Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. **Language, speech, and hearing services in schools**, v. 31, n. 4, p. 362-370, 2000. DOI: https://doi.org/10.1044/0161-1461.3104.362.

[6] CARVALHO, A.P.O. **Influence of architectural features and styles on various acoustical measures in churches**. 1994. 192 f. Tese (Doutorado) – University of Florida, Gainesville, 1994.

[7] POSTMA, B.; KATZ, B. Acoustics of Notre-Dame cathedral de Paris. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, 22., 2016, Buenos Aires. **Proceedings**... Buenos Aires, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/308097722_Acoustics_of_Notre-Dame_cathedral_de_Paris>. Acesso em: 2 jul. 2026.Dame_cathedral_de_Paris/>. Acesso em: 02/07/2026.

[8] IN HWAN, H.; WON, G. C. Improving acoustical characteristics of a Gothic cathedral using simple public address system: A case study of Myeong-dong Cathedral in Seoul, Korea, **Frontiers of Architectural Research**, v. 6, n. 1, p. 17-28, 2017. DOI:

https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.11.001.Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S2095263516300541/. Acesso em: 02/07/2026.

[9] GIRÓN, S.; ÁLVAREZ-MORALES, L.; ZAMARREÑO, T. Church acoustics: A state-of-the-art review after several decades of research. **Journal of Sound and Vibration**, v. 411, p. 378-408, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsv.2017.09.015.