



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Eficácia de barreiras acústicas no controle de ruído em um *campus* universitário no nordeste brasileiro

Lima, J. C.¹; Celis, A. M. C.²; Santos, J. T. da S. L.³; Oiticica, M. L. G. da R.⁴

^(1, 3, 4) Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, Brasil, janaina.lima@fau.ufal.br, {jordana.teixeiraa, lucia.oiticica} @gmail.com.

² Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Amapá, Macapá, AP, Brasil, anneli.2792@gmail.com.

Resumo

A crescente preocupação em relação à poluição sonora ambiental tem levado diversos países a desenvolverem planos de ação e mitigação contra o ruído, incluindo a utilização de barreiras acústicas. A implantação de barreiras acústicas ocorre em rodovias de diversos centros urbanos, reduzindo os níveis sonoros. Logo, o presente artigo buscou avaliar a eficácia da inserção de duas alternativas de barreiras acústicas no entorno do *campus* da Universidade Federal de Sergipe, localizada em São Cristóvão/SE, Brasil. A avaliação do desempenho da barreira foi realizada por meio de simulação computacional, utilizando o *software* iNoise V2022.1 *Free*, comparando as medições acústicas da situação atual (sem barreira) com dois cenários hipotéticos, a fim de compreender a eficácia de diversos tipos de barreira para a atenuação dos níveis de ruído. O primeiro cenário conta com a presença da barreira a 3 metros de altura em blocos de concreto, o segundo trata-se de composição mista com 1,5 metros de altura em alvenaria e 2 metros de vidro laminado. Após a comparação dos níveis sonoros, observou-se que o melhor cenário ocorreu com a presença da barreira mista em materiais de alvenaria e vidro, implantada mais próxima à fonte de ruído. A redução sonora global da barreira acústica chegou a 15 dB a dois metros da barreira em região de sombra acústica. No entanto, próximo aos edifícios de salas de aulas, a redução do ruído de tráfego foi de 4 dB, mantendo algumas fachadas expostas a níveis acima de 50 dB, limite máximo estabelecido pela NBR 10151 (ABNT, 2019) em áreas educacionais no período diurno.

Palavras-chave: poluição sonora, barreiras acústicas, simulação computacional, comportamento acústico.

PACS: 43.50.-x; 43.50.Gf; 43.50.Rq

Abstract

The growing concern regarding environmental noise pollution has led several countries to develop noise action and mitigation plans, including the use of acoustic barriers. The implementation of noise barriers occurs on highways in several urban centers, reducing the noise levels. Therefore, this paper sought to evaluate the effectiveness of the insertion of two alternatives of acoustic barriers around the campus of the Federal University of Sergipe, located in São Cristóvão/SE, Brazil. The evaluation of the barrier's performance was performed through computer simulation, using the free software iNoise V2022.1, comparing the acoustic measurements of the current situation (without barrier) with two hypothetical scenarios, in order to understand the effectiveness of different types of barriers for the attenuation of noise levels. The first scenario has the presence of the barrier at a height of 3 meters in concrete blocks, the second is a mixed composition with 1.5 meters high masonry and 2 meters of laminated glass. After comparing the sound levels, it was observed that the best scenario occurred with the presence of the mixed barrier in masonry and glass materials, deployed closer to the noise source. The overall sound reduction of the acoustic barrier reached 15 dB at two meters from the barrier in acoustic shadow region. However, near the classroom buildings, the reduction of traffic noise was 4 dB, keeping some facades exposed at levels above 50 dB, the maximum limit established by NBR 10151 (ABNT, 2019) in educational areas in daytime.

Keywords: noise pollution, noise barriers, computer simulation, acoustic behavior.



1. INTRODUÇÃO

O rápido crescimento das cidades e o aumento populacional, associados à falta de planejamento urbano podem ocasionar alterações significativas no ambiente urbano, que por sua vez podem interferir na qualidade de vida e na saúde do homem. Tais mudanças podem resultar em diversos problemas, como poluição sonora, a qual ocupa a segunda posição no *ranking* entre os tipos de poluição ambiental que mais afetam as pessoas [1]. Tornando-se, assim, um problema de saúde pública.

O ruído de tráfego é considerado pela comunidade científica a principal fonte sonora nos centros urbanos [2]. A exposição ao ruído pode gerar efeitos auditivos e extra auditivos prejudiciais à saúde humana. Entre os efeitos auditivos, estão lesões auditivas diretas, perda da audição, zumbido, entre outros. Quanto aos efeitos extra auditivos, o ruído está associado ao aumento do estresse, o que pode acarretar angústia e aborrecimento. Além disso, pode ocasionar doença cardiovascular, deficiência cognitiva, efeitos sobre o sono, entre outros [1].

Há três formas de controlar a propagação do ruído: atuando na fonte, na trajetória de transmissão e no receptor. O método mais eficaz consiste em controlar o ruído na fonte, porém muitas vezes é difícil trocar a fonte por uma mais silenciosa. Logo, o controle do ruído em geral recai sobre a trajetória de transmissão, em que são aplicadas soluções como enclausuramento da fonte, barreiras acústicas, tratamento de absorção sonora, silenciadores, entre outros [3].

O termo barreira acústica abrange os muros verticais, as elevações de terra e as coberturas parciais ou totais das vias de circulação com o objetivo de atenuar os elevados níveis de ruído das áreas afetadas. Estes elementos interferem na trajetória das ondas sonoras, ao obstruir a linha de visão entre fonte sonora e receptor [3]. São geralmente utilizadas no contexto urbano e industrial, ao longo de rodovias, ferrovias e aeroportos, com o objetivo de reduzir o impacto sonoro em comunidades residenciais principalmente [4].

Diversos estudos se concentram no desempenho acústico das barreiras, tais como os trabalhos de [5-9], com abordagem acerca da geometria e materiais componentes. Ishizuka e Fujiwara [5] estudaram diferentes formas para as bordas superiores de barreiras acústicas de acordo com as condições de superfície, constatando-se que a barreira macia em forma de T produz o mais alto desempenho, por exemplo, uma barreira em forma de T de 3m de altura proporciona o mesmo desempenho que uma barreira plana de 10m de altura.

Sobre a otimização da seção transversal da barreira, o trabalho de Grubeša; Jambrošić e Domitrović [6] está direcionado ao desempenho acústico, no tocante à perda por inserção, além da viabilidade econômica da utilização de vários materiais e várias formas para a construção da barreira, investigando diferentes tipos de seções transversais. Os resultados demonstraram que o problema de altura excessiva da barreira pode ser resolvido alterando o material e a própria forma da barreira, sem colocar um elemento difusor no seu topo.

Ribeiro *et al.* [9] propuseram a utilização de materiais sustentáveis para construção de barreiras acústicas, a partir de resíduos de construção e demolição. Neste estudo, foram analisados os coeficientes de absorção sonora de blocos de concreto de resíduos de construção e demolição de barreira sonora implantada em zona urbana, demonstrando ser uma alternativa sustentável, o que busca mitigar o impacto sonoro e ambiental.

Alguns pesquisadores se dedicam a desenvolver novos materiais e investigar o seu desempenho acústico, um exemplo é a utilização de metamateriais, que são materiais artificiais modificados, que não existem na natureza, a fim de adquirir propriedades almejadas que não existem de forma natural. Nesse sentido, Iannace, Ciaburro e Trematerra [8] investigaram uma barreira acústica desenvolvida com metamaterial, apontando esta alternativa como eficiente no controle do ruído.

Ademais, a implantação de barreiras acústicas interfere na paisagem, o que acaba impactando

nos fatores estéticos e visuais. O trabalho de Hong e Jeon [10], objetivou investigar as características espectrais da redução do ruído combinadas com impressões visuais de cinco diferentes tipos de barreiras: alumínio, madeira, acrílico translúcido, concreto e barreiras vegetativas. Os resultados apontaram uma preferência geral dos entrevistados por barreiras com maior atenuação sonora, do ponto de vista da qualidade acústica, porém, em relação às preferências estéticas, houve predileção por barreiras com menor atenuação sonora. Conforme Kotzen e English [11], as barreiras acústicas transparentes são construídas em vidro laminado ou temperado, em acrílico ou em policarbonato. As espessuras para o vidro variam entre 8 a 19 mm.

Outra ferramenta de gestão e combate à poluição sonora é a criação de mapas estratégicos de ruído, os quais consistem em uma representação gráfica do ruído ambiental de certa área geográfica, em determinado período do dia, através de curvas isofônicas. A Diretiva Europeia de Ruído Ambiental [12] tem regulamentado a confecção de mapas de ruído para os países-membros da União Europeia. No Brasil, essa ferramenta é utilizada de modo disperso por órgãos municipais e instituições de ensino devido à inexistência de leis federais que a tornem obrigatória [13, 14].

Os mapas de ruído podem ser representados por meio de dados coletados em campo dos níveis de pressão sonora ou por meio de predições com *softwares* de simulação acústica. As simulações acústicas permitem avaliar cenários existentes ou hipotéticos, gerar informações detalhadas das fontes sonoras investigadas, analisar maior quantidade de pontos sem interrupção de condições meteorológicas adversas e sem interferência do ruído de fundo [15].

Alguns estudos também analisaram a acústica ambiental em ambientes escolares [16, 17], uma vez que níveis sonoros elevados prejudicam o desempenho do aluno e do professor, interferindo na concentração, no aprendizado, na leitura e na compreensão da leitura [2]. Inserido nesse contexto, está o *campus* sede da Universidade Federal de Sergipe, na cidade São Cristóvão (SE). Assim, o objetivo desta

pesquisa é analisar o comportamento de barreiras acústicas com duas diferentes morfologias, por meio da aplicação de simulação computacional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Recorte investigado

O recorte selecionado é o *campus* universitário “Prof. José Aloísio de Campos”, sede da Universidade Federal de Sergipe (UFS) conhecido como *Campus* São Cristóvão. Pois, está localizado no município de São Cristóvão, em uma área de conurbação urbana com Aracaju, capital do estado de Sergipe, na região nordeste do Brasil (Figura 1).

O *campus* possui uma área total de 153 hectares [18] e é margeado por vias arteriais, pela Avenida Marechal Cândido Rondon ao norte e pela Rodovia Estadual SE-004 à oeste. Segundo o Plano Diretor Participativo do Município de São Cristóvão, o *campus* está localizado na Macrozona Urbana da Grande Rosa Elze no setor de Polo de Ensino, Pesquisa e Tecnologia com usos do solo limitados às finalidades das instituições de ensino e pesquisa, sendo obrigatório o desenvolvimento de planos diretores específicos para expansão e estruturação das mesmas [19].

Para avaliação da implantação de barreiras acústicas, definiu-se um recorte de análise a partir de visitas exploratórias. A área escolhida corresponde a uma região central do *campus*, englobando a entrada principal de pedestres, o Terminal Rodoviário Intermunicipal à oeste, a Rodovia Estadual SE-004 (à esquerda), dez blocos de salas de aula, áreas de convivência entre as edificações e a única praça do *campus*, Praça da Democracia (à direita), sendo o maior local de convivência, sociabilidade e mais arborizado (Figura 1).

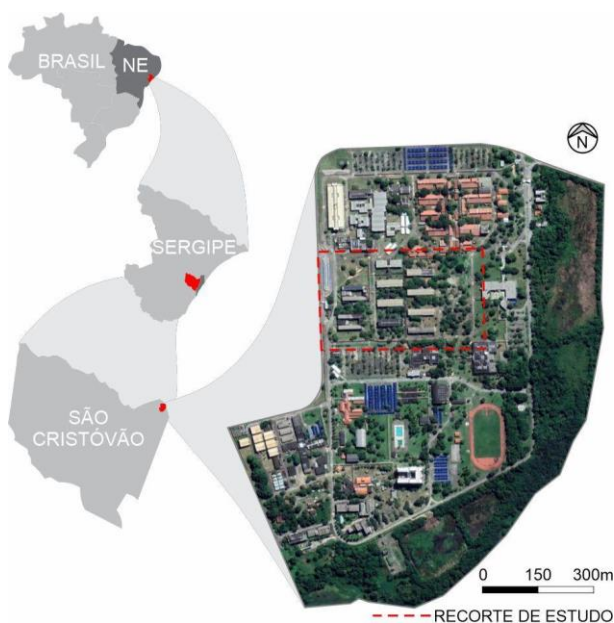


Figura 1: Localização geral (adaptado de Google Earth [20]).

2.2 Simulações acústicas

A coleta de dados físicos com caracterização do local de estudo, do entorno e medições sonoras das fontes de ruído foram realizados em pesquisa anterior [21]. Para subsidiar o processo de modelagem e simulações acústicas, foram utilizados dados de modelagem 2D e 3D do *campus* disponibilizados pela Divisão de Projeto da Superintendência de Infraestrutura da UFS (DIPRO/INFRA-UFS). Também se realizou levantamentos em campo para obter larguras e tipos de materiais constituintes dos elementos construtivos e por meio do *Google Street View* foi possível conferir o gabarito de altura das edificações no entorno do *campus*.

Além do ruído de tráfego rodoviário das vias arteriais, também foram consideradas fontes de ruído internas ao *Campus* São Cristóvão, como compressores de ar condicionado e conversação de usuários. A coleta de dados acústicos ocorreu entre novembro de 2019 e fevereiro de 2020 durante os períodos matutino e vespertino em dias típicos de semana [21]. O sonômetro da marca Homis, modelo 248, foi ajustado para registrar níveis de pressão sonora equivalente contínuo por banda de 1/3 de oitava (LAeq,T) e tempo de resposta *Fast*, o calibrador CAL-3000

também possui Classe II de precisão e todas as medições respeitaram as recomendações da NBR 10151 [22].

As simulações acústicas foram realizadas no *software* iNoise, versão *Free* 2022.1, da Empresa DGMR Software. Após realizada a modelagem 3D dos elementos construtivos do *Campus* São Cristóvão, inseriu-se os níveis de pressão sonora das fontes de ruído e receptores acústicos para caracterização da acústica ambiental. A malha de pontos de cálculo horizontal definida foi de 10 metros a 1,5 metro do solo e a vertical de 3 metros a 1 metro das fachadas dos blocos de salas de aula. A topografia plana do modelo representa uma simplificação aproximada da realidade.

Adotou-se o método de cálculo estabelecido pela ISO 9613-1/2 [23, 24] em bandas de 1/3 de oitava. Simulou-se o cenário atual, no qual há um muro de alvenaria pintada, com altura de 1,5 metro para validação da modelagem. Além disso, foram criados dois cenários hipotéticos com diferentes barreiras acústicas: o primeiro com a criação de barreira a 3 metros de altura em blocos de concreto, o segundo trata-se de composição mista com 1,5 metro de altura em alvenaria e 2 metros de vidro laminado acima em todo entorno do *campus*. Foram adicionados oito receptores acústicos próximos às barreiras para verificar a eficácia na redução do ruído por meio da simulação. No mesmo alinhamento, do lado interno, foram posicionados os receptores do lado externo, ou seja, frente à barreira (face voltada ao ruído) e atrás da barreira (face oposta ao ruído) (Figura 2).

O vidro laminado de 10 mm de espessura, sendo composto por vidro de 3 mm e de 6 mm com PVB acústico entre as chapas de 0,76 mm, foi escolhido observando a perda de transmissão sonora na frequência de 1k Hz. Esta é a principal frequência do espectro de ruído rodoviário do entorno do *Campus* São Cristóvão. O vidro laminado atenua 38 dB em 1k Hz, e não coincide com a frequência de ressonância do elemento, conforme ensaios realizados pela Empresa Atenua Som, fabricante de esquadrias.

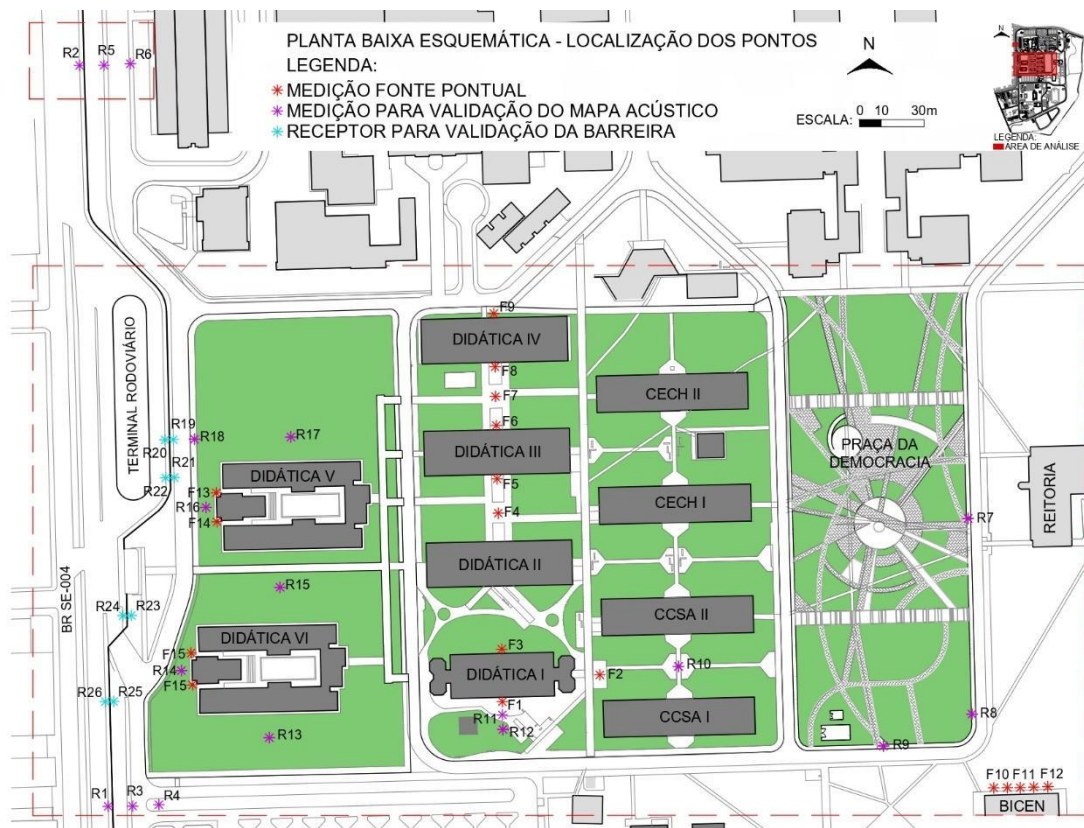


Figura 2: Localização dos pontos das medições acústicas externas e internas ao *campus*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Cenário existente

Os Níveis de Pressão Sonora (NPS) medidos e simulados foram comparados para validação do modelo acústico e foi adotada a recomendação da *European Commission Working Group* [25] quanto à variação da incerteza de $\pm 4,6$ dB. A Tabela 1 mostra as diferenças (Dif.) obtidas entre os NPS $L_{Aeq,medido}$ e $L_{Aeq,simulado}$ nos 18 pontos externos e internos ao *Campus* São Cristóvão (SE), atendendo ao critério adotado.

A Tabela 1 evidencia os 18 receptores que validam o modelo de simulação acústica. Os pontos R1 e R2 estão localizados na área externa do *campus*, na frente do muro e mais próximos à Rodovia Estadual SE-004. Já os receptores R3 a R6, estão posicionados em eixos perpendiculares ao muro do *campus*, no alinhamento dos pontos R1 e R2, com distâncias de 10 a 20m em relação ao muro para validar a fonte de tráfego rodoviário. Os demais pontos estão distribuídos no recorte investigado.

Tabela 1: Comparação entre os valores medidos e simulados de níveis de pressão sonora.

Ponto	$L_{Aeq,medido}$,dB	$L_{Aeq,simulado}$,dB	Dif.
R1	73,1	76,4	-3,3
R2	74,9	77,2	-2,3
R3	61,7	60,8	0,9
R4	58,3	58,7	-0,4
R5	60,8	61,5	-0,7
R6	60,6	59,6	1
R7	48,9	45,4	3,5
R8	49,1	50,9	-1,8
R9	49,1	46,9	2,2
R10	49,4	52,4	-3
R11	60	60,1	-0,1
R12	51,1	48,9	2,2



R13	48,2	51,1	-2,9
R14	57,4	60,4	-3
R15	54	56	-2
R16	56,4	59,8	-3,4
R17	49,5	53,3	-3,8
R18	55,6	58,2	-2,6

Os NPS externos ao *campus* registraram 73 dB e 75 dB, o que evidencia a maior interferência da acústica ambiental do *Campus* São Cristóvão gerada pelo tráfego veicular. 67% do total de receptores, 12 pontos, contém NPS que superam o valor de 50 dB, limite estabelecido pela NBR 10151 [22] para áreas estritamente educacionais no período diurno. Segundo WHO [2], níveis sonoros de 55 dB podem gerar início de estresse, sendo que 56% dos receptores ultrapassam esse limite (Tabela 1).

A Figura 3 mostra o mapa acústico da situação existente (muro a 1,5 metro) do *Campus* São Cristóvão para o período diurno. A predominância das cores vermelha e magenta representam NPS mais elevados, entre 70 dB e 75 dB, nas margens da via de tráfego mencionada. Observa-se que o ruído rodoviário é responsável pelas maiores perturbações sonoras no *campus*, gerando níveis entre 60 dB

e 65 dB, os quais ultrapassam o valor limite para áreas externas educacionais, consoante a NBR 10.151 [22]. Essa situação pode prejudicar a qualidade acústica dos espaços próximos às Didáticas V e VI, principalmente na região a oeste.

Fontes sonoras pontuais também influenciam na acústica local, porém em menor proporção em relação à fonte linear. Os compressores de ar condicionado, próximos às fachadas das didáticas, produzem até 60 dB, já os compressores alinhados na lateral da Biblioteca Central (BICEN) geram até 65 dB no seu entorno. A conversação dos usuários teve maior potência chegando a 80 dB, entre a Didática I e os blocos CCSA I e II, e até 70 dB entre as Didáticas III e IV. Esses locais de convivência são bastante ocupados por alunos nos intervalos entre aulas, os quais também compõem a acústica local.

A acústica ambiental da Praça da Democracia, (Figura 3), localizada em região de miolo de quadra do *campus*, é a melhor registrada, contendo entre 40 dB e 50 dB. Este pode ser um dos motivos dessa área ser bem usufruída por estudantes e funcionários. Apesar da proximidade com os compressores de ar condicionado da BICEN, a atenuação sonora com a distância reduz este efeito na praça, não ultrapassando os limites estabelecidos pela NBR 10151 [22] de 50 dB.

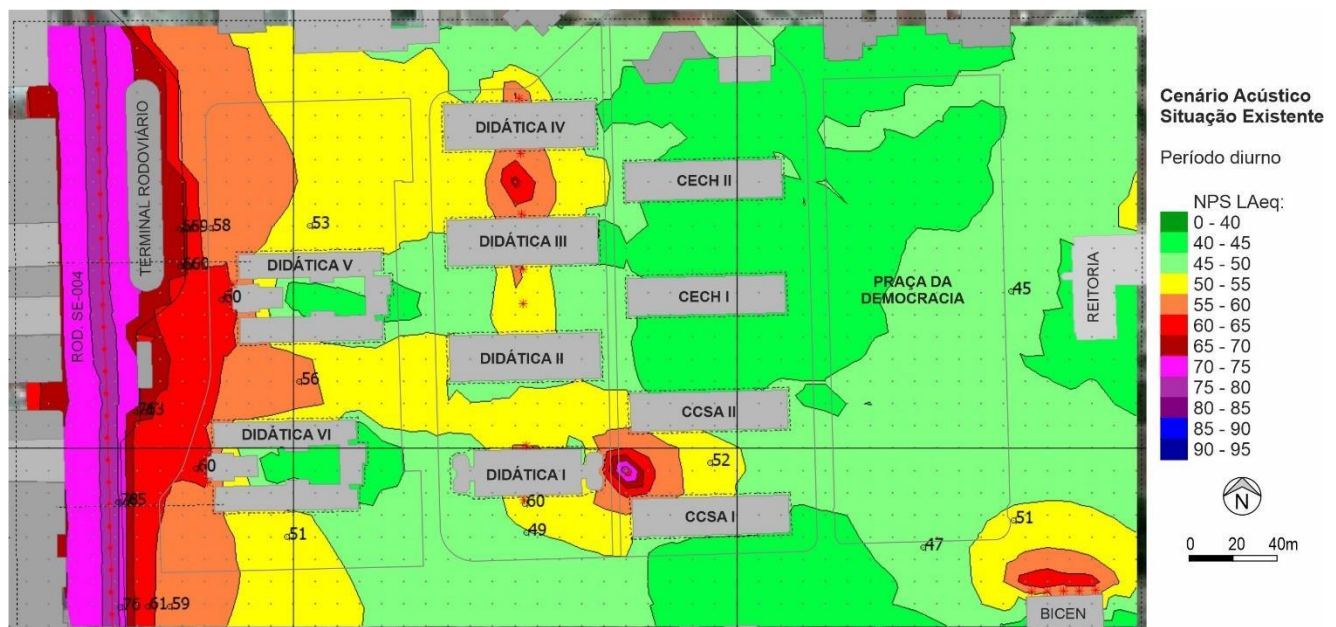


Figura 3: Mapa acústico do cenário existente.

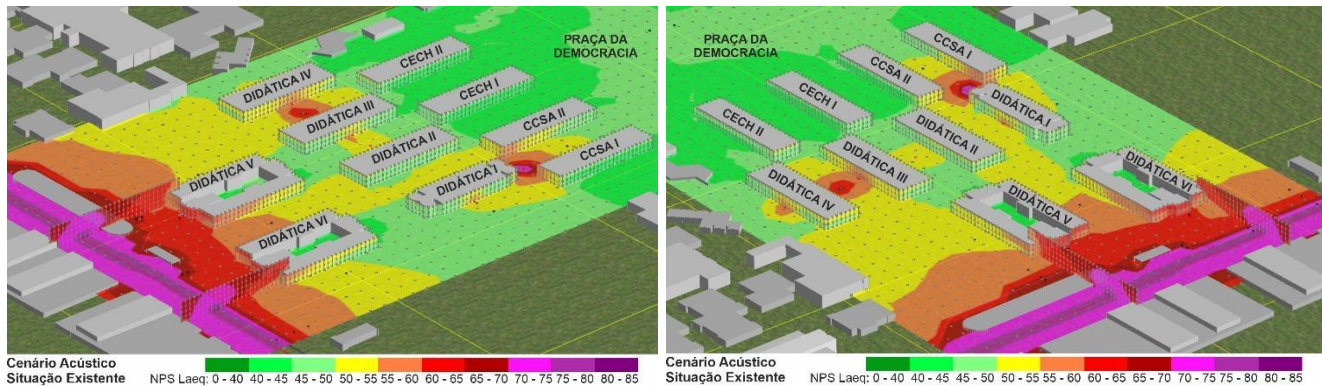


Figura 4: Vista noroeste 3D do cenário existente **Figura 5:** Vista sudoeste 3D do cenário existente

As Figuras 4 e 5 evidenciam a modelagem 3D do *Campus* São Cristóvão do cenário existente com as curvas isofônicas no plano horizontal, nas fachadas das didáticas e em 2 planos verticais cruzando a BR SE-004. As fachadas mais próximas à via são atingidas por NPS mais elevados, especialmente, as Didáticas V e VI, com a cor vermelha, chegando a 65 dB à oeste. As fachadas norte e sul de ambas estão expostas a níveis de até 60 dB, conforme escala de cores. A disposição das Didáticas V e VI com as menores fachadas voltadas para leste e oeste, reduz a exposição do ruído do tráfego veicular nas salas de aula localizadas nesses blocos.

As demais didáticas recebem menor influência da rodovia, devido a atenuação sonora com aumento da distância da fonte linear e à localização das Didáticas V e VI, que se comportam como barreiras acústicas, reduzindo os níveis sonoros a leste. Estas edificações possuem poucas regiões com cor laranja, ou seja, que correspondem até 60 dB, quando mais próximas às fontes pontuais. Porém, há o predomínio das cores verde e amarela, associadas a NPS de até 55 dB. Conforme a NBR 10152 [26], o nível de conforto acústico para salas de aula é de 35 dB, logo o isolamento acústico das fachadas mais expostas deve ser de pelo menos 25 dB. Uma vez que, o ruído externo afeta diretamente os ambientes internos das edificações.

Os planos verticais evidenciam o comportamento da fonte linear com propagação de ruído semicircular, até atingir a mureta de 1,5 metro de altura e a cobertura do terminal

rodoviário, ocorrendo o desvio da onda sonora para cima e reduzindo os níveis sonoros que atingem as Didáticas V e VI.

3.2 Cenários hipotéticos

A segunda etapa da simulação computacional compreendeu a adição das barreiras acústicas, a fim de caracterizar a perda de inserção, ou seja, a diferença de nível em um determinado ponto receptor com e sem a barreira acústica. A geometria da barreira escolhida foi plana, devido às limitações da versão 2022.1 gratuita do *software iNoise*, não permitindo a inclinação vertical da mesma.

Primeiro, houve a adição a barreira homogênea de blocos de concreto com coeficiente de reflexão médio de 0,80 e altura de 3m no entorno do *campus*, substituindo o muro de 1,5 metro atualmente existente. Em segundo, simulou-se a barreira mista com manutenção do muro de 1,5 metro de alvenaria e adição de vidro laminado acima com 2 metros de altura. O coeficiente de reflexão da alvenaria foi o mesmo dos blocos de concreto, 0,80, já o vidro foi definido 1, para ambas as faces, seguindo as configurações do método de cálculo da ISO 9613-1/2 [23, 24] utilizado no *software iNoise*, caracterizando-se como um material reflexivo.

De modo geral, são considerados nas simulações todos os pontos receptores, mas para uma melhor análise da eficiência das barreiras, especificou-se os receptores críticos, os quais foram posicionados de forma paralela ao muro e na região de maior interferência da energia sonora da rodovia. Os receptores considerados



críticos são os pontos inseridos, R19 a R26, para averiguar o desempenho das barreiras e os receptores R1 a R6, já inseridos na Tabela 1 para validar o mapa de ruído.

3.2.1 Barreira de 3 metros

Após reunir os resultados obtidos com a inserção da barreira acústica de 3 metros de blocos de concreto, pode-se perceber que a atenuação sonora variou conforme a distância do receptor ao muro, posição em relação à fonte sonora linear e morfologia urbana. Observa-se que os receptores que ficaram à 2m na frente da barreira, mais próxima à fonte de tráfego de veículos, obtiveram o ganho aproximado de 1 dB (Tabela 2). Situação possivelmente ocorrida devido à falta de inclinação da barreira acústica, para desviar os raios sonoros incidentes para outras direções e evitar a reflexão espelhada do raio, e também ao material reflexivo adotado [11].

A atenuação máxima da barreira foi de 7dB no R25, a 2 metros no tardo da barreira, a mínima variou entre 1 e 2 dB nos pontos R14 a R17, os quais estão situados próximos às didáticas, as quais contribuem com a reflexão do raio sonoro. Os receptores R3 a R6 receberam uma atenuação de 4 a 5 dB, estando entre 10 e 20 metros da barreira e também distantes das fachadas das edificações. Nos demais pontos,

em região de sombra acústica da barreira, R19, R21 e R23, a atenuação variou entre 4 dB e 6 dB (Tabela 2).

A Figura 6, evidencia o mapa de ruído da situação hipotética com barreira acústica de 3 metros, percebe-se que houve uma sutil melhoria da acústica ambiental no *Campus* São Cristóvão (SE), com o aumento de regiões com cor verde, apresentando no máximo 40 dB na Praça da Democracia. As fontes pontuais continuam se destacando, com regiões mais silenciosas entre o CCSA II, CECH I e CECH II. Houve redução das curvas isofônicas em laranja e vermelho, próximas à barreira, gerando uma pequena área mais silenciosa ao norte de até 50 dB. Neste trecho a eficiência de atenuação da barreira chegou ao máximo de 15 dB, ao comparar com a situação atual.

As imagens 3D da situação hipotética com muro de 3 metros (Figuras 7 e 8) também demonstram uma melhoria e redução dos níveis de ruído nas fachadas das didáticas. Nas fachadas oeste das Didáticas V e VI há apenas a cor laranja com níveis de até 60 dB, porém, regiões com até 65dB, cor vermelha, ainda estão presentes no *grid horizontal*, associadas aos compressores de ar condicionado próximos às fachadas. Além disso, a descontinuidade da barreira na entrada coberta de pedestres fragiliza seu desempenho de atenuação sonora.

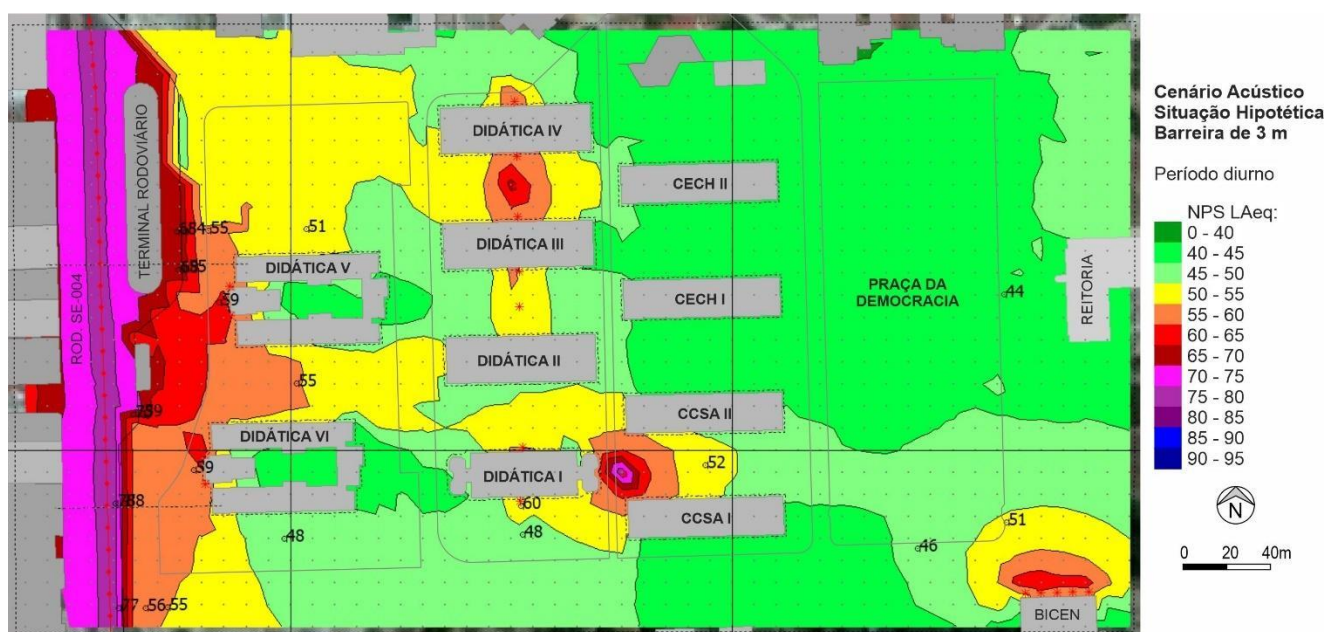


Figura 6: Mapa acústico do cenário hipotético (barreira de 3 metros)

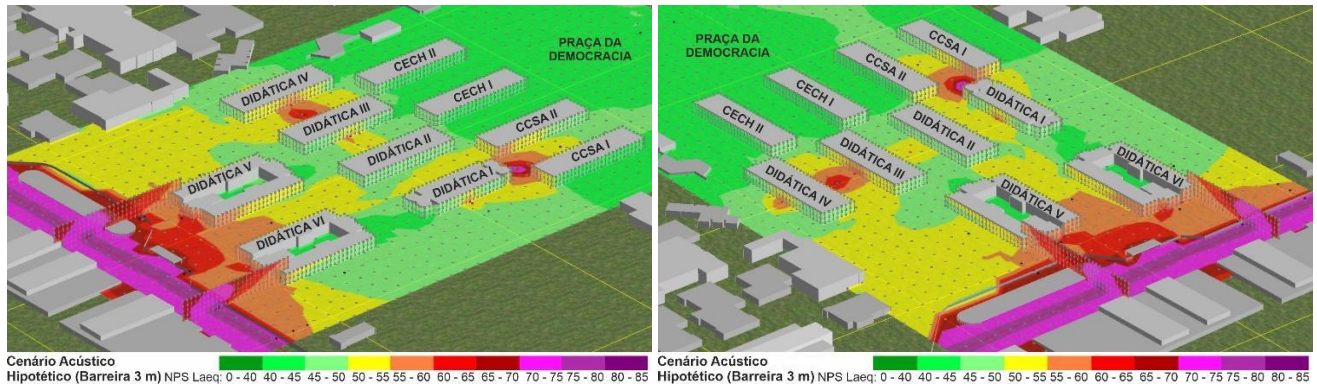


Figura 7: Vista noroeste 3D do cenário hipotético (barreira de 3 metros) **Figura 8:** Vista sudoeste 3D do cenário hipotético (barreira de 3 metros)

A redução do NPS obtida com a criação da barreira de concreto de 3 metros de altura não foi suficiente para enquadrar as áreas ao ar livre do *Campus* São Cristóvão (SE) abaixo do limite determinado pela NBR 10.151 [22] e considerado como aceitável pela *World Health Organization* [2] de 50 dB. Assim, tentando melhorar este cenário e levando em consideração seu impacto visual na paisagem urbana do entorno, criou-se o segundo cenário hipotético com barreira mista de 1,5 metro de alvenaria e adicionando 2 metros de vidro laminado, o qual reduz a altura aparente geral da barreira para o pedestre.

Tabela 2: Comparação entre os valores simulados na situação atual (sem barreira), barreira homogênea de 3 metros e barreira mista de 3,5 metros.

Ponto	Situação atual $L_{Aeq, dB}$	Barreira de 3 m $L_{Aeq, dB}$	Barreira com 3,5 m $L_{Aeq, dB}$
R1	76	77	76
R2	77	78	77
R3	61	56	55
R2	59	55	54
R5	62	56	55
R6	60	55	54
R13	51	48	47
R14	60	59	58
R15	56	55	55

R16	60	59	58
R17	53	51	50
R18	58	55	54
R19	59	54	53
R20	66	68	66
R21	60	55	54
R22	66	68	66
R23	63	59	59
R24	71	73	71
R25	65	58	57
R26	78	78	78

3.2.1 Barreira de 3,5 metros

Comparando os resultados obtidos da inserção da barreira acústica de 3,5 metros mista de 1,5 metro de alvenaria e 2 metros de vidro laminado com o cenário hipotético anterior, percebeu-se uma melhor eficácia da barreira. Os receptores que ficaram a 2 metros na frente da barreira, não obtiveram ganho sonoro com relação à situação atual. Assim como, a maior redução sonora ocorreu na região de sombra acústica, no receptor R25 com diminuição de 8 dB. Os demais pontos a 2 metros da barreira, no tardoz, obtiveram uma atenuação sonora entre 4 dB e 6 dB (Tabela 2).

Próximo às Didáticas V e VI, a redução do ruído de tráfego foi de 4 dB, nos pontos R13 e R17



chegando a 47 dB e 50 dB, respectivamente, nível sonoro abaixo do limite estabelecido pela NBR 10151 [22] em áreas educacionais, o qual deve ser de até 50 dB no período diurno. O receptor R15 localizado entre as didáticas citadas, obteve redução apenas de 1 dB, devido à provável contribuição da reflexão das ondas sonoras pelas fachadas das didáticas.

A Figura 9 representa o mapa de ruído com a adição da barreira de 3,5 metros no entorno do *Campus São Cristóvão* (SE). É perceptível a redução das áreas atingidas por NPS maior que 50 dB afetadas pelo tráfego de veículos. Nas demais regiões, vê-se apenas a interferência das fontes pontuais, conversação de pessoas ou compressores de ar condicionado, na acústica ambiental.

A modelagem 3D deste cenário hipotético (Figuras 10 e 11) também retrata uma pequena melhoria do NPS com relação à situação atual, nas quais apenas as Didáticas V e VI, recebem interferência direta da fonte de ruído linear. Apesar de haver a cobertura do Terminal Rodoviário Intermunicipal em frente à Didática V, esta não contribui para redução do ruído veicular, e mesmo este bloco de salas de aula sendo aproximadamente 14 metros mais próximo da barreira, do que a Didática VI, ambos recebem o mesmo NPS de 58 dB nos receptores próximos às suas fachadas oeste. Fato ocorrido, devido à proximidade com os compressores de ar condicionado localizados nestas fachadas.

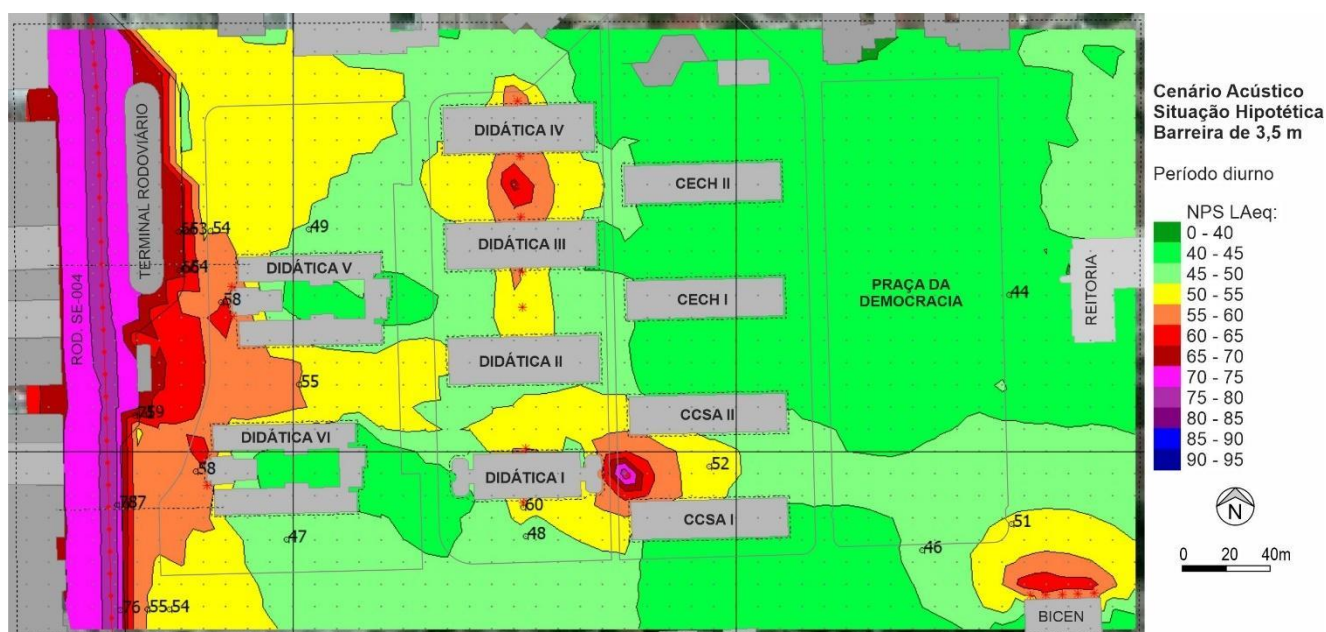


Figura 9: Mapa acústico do cenário hipotético (barreira de 3,5 metros)

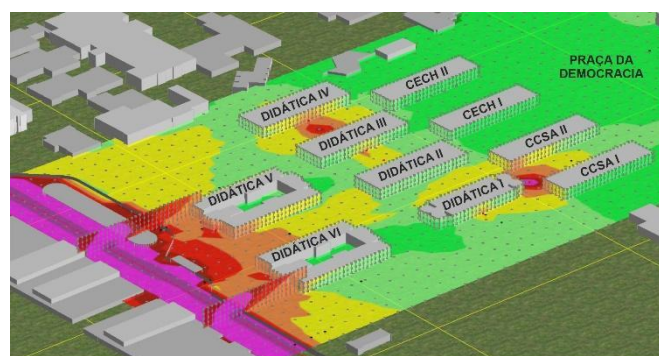


Figura 10: Vista noroeste 3D do cenário hipotético (barreira de 3,5 metros)

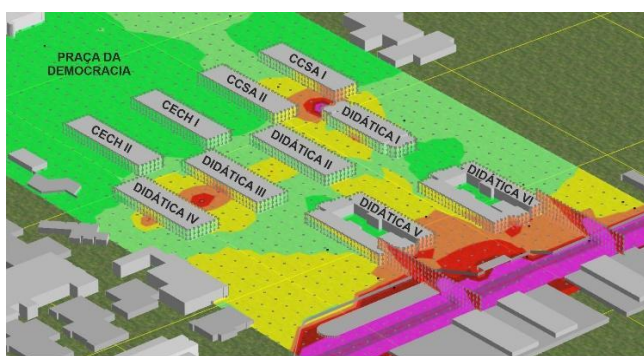


Figura 11: Vista sudoeste 3D do cenário hipotético (barreira de 3,5 metros)

5. CONCLUSÃO

Por meio do presente estudo, foi possível analisar a eficácia da atenuação sonora com a inserção de dois tipos de barreiras acústicas no perímetro do *Campus* São Cristóvão (SE). Esta estratégia foi adotada buscando reduzir os níveis sonoros provenientes da principal fonte de ruído ambiental no local de estudo, o tráfego de veículos, no qual a exposição diária ao ruído pode prejudicar a saúde e desempenho das atividades dos usuários do *campus*.

Verificou-se que com o aumento do dobro da altura do muro pré-existente, de 1,5 metro para 3 metros, em concreto e com adição de vidro laminado de 2 metros acima do muro de 1,5 metro de alvenaria, ambos com geometria reta, a atenuação sonora da barreira foi de 7 dB a 8 dB em locais de sombra acústica. Porém, esta atenuação do ruído não foi suficiente para manter as fachadas das didáticas mais próximas à via arterial protegidas, sendo necessário simulação de barreiras com materiais fonoabsorventes e inserção da Perda de Transmissão (TL) por frequência do material.

É importante reconhecer que as barreiras acústicas, apesar de ajudarem a reduzir os níveis de ruído, podem gerar impactos em outras questões ambientais, a respeito do impacto visual. O aumento do dobro da altura foi definido, considerando a modificação da paisagem e sensação de confinamento aos usuários do local, porém não obteve resultados satisfatórios. Assim, pode-se variar a geometria da barreira, inclinando-a para cima o que refletirá os raios em direção ao céu, assim como aumentar a altura e/ou recobrir a barreira com vegetação.

Também há outras alternativas de mitigação do ruído de tráfego além da inserção de barreiras acústicas, como o uso de superfícies de revestimento das principais vias mais silenciosas, uso da topografia natural para rebaixamento das estradas e medidas restritivas de velocidade. Além da criação de túneis e isolamento acústico das edificações atingidas. Portanto, reforça-se a necessidade em reduzir o ruído ambiental em ambientes escolares, como no *Campus* São Cristóvão (SE), visando o

melhor aproveitamento dos espaços ao ar livre e plena realização de atividades acadêmicas.

REFERÊNCIAS

- [1] World Health Organization. Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2018. ISBN 978-92-890-5356-3
- [2] World Health Organization. Guidelines for Community Noise. Geneva: Stockholm University and Karolinska Institute, 1999.
- [3] Bistafa, S. R. Acústica aplicada ao controle do ruído. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2011. ISBN 978-85-212-0581-4
- [4] Moraes, L. R. de. Estudo de Barreiras Acústicas no Controle do Ruído Aeroportuário. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008. Disponível em: http://objidig.ufri.br/60/teses/coppe_d/LudmilaRodrigues deMoraes.pdf
- [5] Ishizuka, T. e Fujiwara, K. Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions. Applied Acoustics, [S. l.], v. 65, n. 2, p. 125–141, 2004. doi: <https://doi.org/10.1016/J.APACoust.2003.08.006>
- [6] Grubeša, S.; Jambrošić, K.; Domitrović, H. Noise barriers with varying cross-section optimized by genetic algorithms. Applied Acoustics, [S. l.], v. 73, n. 11, p. 1129–1137, 2012. doi: <https://doi.org/10.1016/J.APACoust.2012.05.005>
- [7] Kesten, S.; Umut, Ö.; Ayva, B. Acoustic and structural design of a highway noise barrier. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, [S. l.], v. 800, n. 1, p. 012029, 2020. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/800/1/012029>
- [8] Iannace, G.; Ciaburro, G.; Trematerra, A. Metamaterials acoustic barrier. Applied Acoustics, v. 181, p. 108172, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/J.APACoust.2021.108172>
- [9] Ribeiro, R. S.; Sousa, R. P. de; Amarilla, R. S. D.; Sant'Ana, L. H.; Avelar, M.; Catai, R. E.; Matoski, A. Sound insulation of a hollow concrete blocks wall made with construction and demolition waste and wood-based panels as linings. Building Acoustics, v. 28, n. 4, p. 423–442, 2021. doi: <https://doi.org/10.1177/1351010X21993640>
- [10] Hong, J. Y.; Jeon, J. Y. The effects of audio-visual factors on perceptions of environmental noise barrier performance. Landscape and Urban Planning, v. 125, p. 28–37, 2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014>
- [11] Kotzen, B.; English, C. A. Environmental noise barriers: a guide to their acoustic and visual design. 2. ed. USA and Canada: Spon Press, 2009. ISBN 0-203-93138-6



- [12] Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu E Do Conselho. Relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 25 jun. 2002. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=PT>
- [13] São Paulo. Lei nº 16.499 - Mapa de Ruído Urbano. São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, 2016.
- [14] Brasileiro, T. C.; Alves, L. R.; Florêncio, D. N. P.; Araújo, V. M. D.; Araújo, B. C. D. Mapas de ruído: histórico e levantamento da atual produção brasileira. *Acústica e Vibrações*, n. 51, dez. 2019. ISSN 1983-442X
- [15] Guedes, I. C. M.; Bertoli, S. R. Mapa acústico como ferramenta de avaliação de ruído de tráfego veicular em Aracaju - Brasil. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v. 5, n. 2, p. 40-51, jul./dez. 2014. doi: <https://doi.org/10.20396/parc.v5i2.8634537>
- [16] Zannin, P. H. T.; Engel, M. S.; Fiedler, P. E. K.; Bunn, F. Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. *Cities: The International Journal of Urban Policy and Planning*, [S.l.], n. 31, 2013. Ltd. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2012.09.008>
- [17] Oliveira, A. L.; Nunes, M. A. de A. Mapeamento acústico e avaliação do impacto do ruído de tráfego veicular no *campus* gama – Universidade de Brasília. Em XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Sobrac 2018, Porto Alegre, RS, 2018. Disponível em: <https://proceedings.science/sobrac/papers/mapeamento-acustico-e-avaliacao-do-impacto-do-ruído-de-trafego-veicular-no-campus-gama-----universidade-de-brasilia>
- [18] Souza, J. E.; Santos, P. F. de M.; Lima, A. P. S.; Melo, N. Universidade Federal de Sergipe: de faculdades isoladas à expansão (1948 - 2008). VI CONGRESSO BRASILEIRO DE HISTÓRIA DA EDUCAÇÃO – CBHE, Espírito Santo, ano 6, 2011. Disponível em: www.cbhe.org.br/novo/congressos/cbhe6/anais_vi_cbhe/conteudo/file/1014.doc.
- [19] São Cristóvão. Lei nº 470 – Plano Diretor Participativo do Município de São Cristóvão. São Cristóvão: Prefeitura Municipal de São Cristóvão, 21 dez. 2020. Disponível em: https://anexos.saocristovao.se.gov.br/arquivos/portal/ace_sso_rapido/planos_municipais/plano_diretor/Plano_Diretor.pdf
- [20] Google Earth, UFS São Cristóvão-Se, 2022. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>
- [21] Lima, J. C.; Guedes, I. C. M. Avaliação da acústica ambiental em um *Campus* universitário de Sergipe – Brasil. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.12, p. 120951-120973, dez. 2021. ISSN: 2525-8761 doi: 10.34117/bjdv7n12-728. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/42061>
- [22] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 10151: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [23] International Organization for Standardization. ISO 9613/1: Acoustics: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere, 9613/1. Suíça, 1993.
- [24] International Organization for Standardization. ISO 9613/2: Acoustics: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors. Part 1: General method of calculation, 9613/2. Suíça, 1996.
- [25] WG-AEN. European Commission Working Group – Assessment of Exposure to Noise. Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and Production of Associated Data on Noise Exposure. Position Paper, Final Draft. Version 2, 13th January 2006.
- [26] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 10152: Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.