XXX ENCONTRO DA SOBRAC 2023
SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA
19 a 22 de novembro de 2023
Natal - RN

Critérios de planejamento urbano para atenuação da exposição da população ao ruído de tráfego rodoviário

Brasileiro-Meneses, T.C. [1]; Araújo, V. M. D.[2]; Araújo, B. C. D.[3]; Morais, J. C.[4]

[1] Departamento de Arquitetura e Urbanismo/Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, tamarisbrasileiro@gmail.com
[2] Departamento de Arquitetura e Urbanismo/Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, virginiamdaraujo@gmail.com
[3]Departamento de Arquitetura e Urbanismo/Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, dantasbianca@gmail.com
[4] Departamento de Arquitetura e Urbanismo/Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil, juliana.costa@academico.ufpb.br

Resumo

A ausência de um planejamento urbano adequado nas cidades tem contribuído para o agravamento da poluição sonora, estando ela em segundo lugar no ranking das poluições que causam maior impacto à população. Uma das ferramentas mais importantes para a avaliação e gestão do ruído ambiental é o mapeamento do ruído. No contexto da expansão urbana no Brasil, foi inaugurada, no ano de 1972, a terceira maior rodovia do país, a Rodovia Transamazônica BR-230. Em decorrência desta construção, houve transformações nas áreas urbanas, de modo especial, na Região Metropolitana de João Pessoa, situada no estado da Paraíba. Este trabalho tem como objetivo geral analisar a exposição da população ao ruído de tráfego veicular e avaliar critérios de planejamento urbano para mitigar essa exposição, tendo como estudo de caso a área de influência da Rodovia Transamazônica BR-230 em João Pessoa-PB. A pesquisa utilizou o método de abordagem quantitativo, por meio da prospecção de dados (modelagem, simulações e análise estatística), seguidos da leitura e interpretação do cruzamento das informações coletadas em campo com os resultados obtidos nas simulações computacionais. Após avaliar o ruído de tráfego presente no universo de estudo foram encontrados níveis de ruído acima dos parâmetros estabelecidos pelas normas vigentes, atingindo cerca de 80 dB. Para reduzir o ruído excedente encontrado no universo de estudo, foram criados e simulados cenários hipotéticos contendo possíveis soluções mitigadoras, a exemplo do uso de asfalto poroso, taludes, barreiras acústicas e redução da velocidade média dos veículos. Comprovou-se que os cenários hipotéticos apresentaram resultados satisfatórios quando os elementos utilizados foram barreiras acústicas e/ou taludes.

Palavras-chave: acústica urbana, mapa de ruído, ruído de tráfego, poluição sonora.

Abstract

The absence of adequate urban planning in cities has contributed to the aggravation of noise pollution, which ranks second in the ranking of pollution that causes the greatest impact on the population. One of the most important tools for assessing and managing environmental noise is noise mapping. In the context of urban expansion in Brazil, the third largest highway in the country was inaugurated in 1972, the Transamazônica BR-230 Highway. As a result of this construction, there were transformations in urban areas, especially in the Metropolitan Region of João Pessoa, located in the state of Paraíba. The general objective of this work is to analyze the exposure of the population to vehicular traffic noise and to evaluate urban planning criteria to mitigate this exposure, using the area of influence of the Transamazônica Highway BR-230 in João Pessoa-PB as a case study. The research used the quantitative approach method, through data prospecting (modeling, simulations and statistical analysis), followed by reading and interpreting the crossing of information collected in the field with the results obtained in computer simulations. After evaluating the traffic noise present in the study universe, noise levels were found above the parameters established by current standards, reaching around 80 dB. To reduce the excess noise found in the study universe, hypothetical scenarios were created and simulated containing possible mitigating solutions, such as the use of porous asphalt, embankments, acoustic barriers and reducing the average speed of vehicles. It was proven that the hypothetical scenarios presented satisfactory results when the elements used were acoustic barriers and/or slopes.

Keywords: urban acoustics, noise map, traffic noise, noise polution.

1. Introdução

As antigas estradas em leito natural, utilizadas para comércio, formaram a estrutura principal das rodovias atuais brasileiras. A maioria dos contornos rodoviários brasileiros próximos às cidades foi absorvida pela malha urbana, exercendo funções intraurbanas. O potencial de concretizar a acessibilidade e a mobilidade induz ao crescimento urbano de sua região lindeira. Contudo, as rodovias surgem sob interesses internacionais, nacionais e regionais, e não consideram a sua relação com o espaço intraurbano [1].

A ausência de um planejamento urbano adequado nas cidades tem contribuído para o agravamento da poluição sonora, estando ela em segundo lugar no ranking das poluições que causam maior impacto à população, perdendo apenas para a poluição do ar [2]. Entretanto, em virtude da sua dificuldade de percepção e aceitação imediata de seus efeitos, ela é a que apresenta o maior perigo, podendo interferir diretamente na saúde da população [3].

Existem ferramentas que representam o ruído ambiental, permitindo sua avaliação e gestão. Uma das mais importantes ferramentas para esse fim é o mapeamento acústico, também chamado de mapeamento do ruído.

O mapeamento do ruído refere-se a uma ferramenta de análise sonora do espaço urbano adequada ao estudo da poluição sonora, pois permite, por meio da elaboração de mapas, a localização dos principais pontos críticos de ruído de uma determinada área [4]. Com base na análise dos mapas é possível estabelecer medidas para o controle, a melhoria e a preservação da qualidade sonora urbana [5].

Em meio a esse contexto foi instituída, em 25 de junho de 2002, pelo Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, a Diretiva 2002/49/CE, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiental. O objetivo principal dessa Diretiva é “definir uma abordagem comum para evitar, prevenir ou reduzir, numa base prioritária, os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente, incluindo o incômodo dela decorrente” [6].

Diferente das normas presentes nos países europeus, no Brasil ainda não há uma legislação nacional que incentive a elaboração dos mapas de ruído.

No Brasil, dentre os planos de ação de combate à poluição sonora destaca-se o desenvolvido pela Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF) em conjunto com a Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA). Intitulado como Tolerância Zero em Fortaleza ou, simplesmente, Carta Acústica em Fortaleza, foi coordenado e executado pelo Fiscal Municipal Francisco Aurélio Chaves de Brito em parceria com o professor Jose Luís Bento Coelho [7].

No contexto da expansão urbana no Brasil, foi inaugurada, no ano de 1972, a terceira maior rodovia do país. Possuindo 4.223 km de extensão, a Rodovia Transamazônica BR-230 (que liga a cidade portuária de Cabedelo, na Paraíba, ao município de Lábrea, no Amazonas) percorre sete estados brasileiros [8]. Em decorrência desta construção, houve transformações nas áreas urbanas citadas [9], de modo especial, no estado da Paraíba, visto que o mesmo é cortado pela rodovia ao longo de sua maior extensão, que compreende o sentido Leste-Oeste.

Este artigo teve como objetivo geral analisar a exposição da população ao ruído de tráfego veicular e avaliar critérios de planejamento urbano para mitigar essa exposição, tendo como estudo de caso três recortes da área de influência da Rodovia Transamazônica BR-230 na cidade de João Pessoa.

Destaca-se que esse artigo corresponde à uma parcela da tese de doutorado de uma das autoras.

2. Metodologia

A pesquisa utilizou o método de abordagem quantitativo, por meio da prospecção de dados (modelagem, simulações e análise estatística), seguido da leitura e interpretação do cruzamento das informações coletadas em campo com os resultados obtidos nas simulações computacionais. O método operacional baseou-se no estudo de caso, tendo como objeto de estudo a relação entre ruído de tráfego rodoviário, a população exposta na área de influência da BR-230 na cidade de João Pessoa/PB e os parâmetros estabelecidos pelas normas ambientais.

Para a elaboração da pesquisa foram estabelecidas as seguintes etapas metodológicas: obtenção dos condicionantes físico-ambientais; coleta e análise dos parâmetros de tráfego e acústicos; escolha dos pontos de medição; coleta dos dados demográficos e cálculo da população exposta; elaboração do banco de dados e representação espacial no software QGis®; e análise estatística dos critérios de planejamento urbano e suas combinações. Para caracterizar os parâmetros de tráfego do universo de estudo foram coletados os dados referentes à composição do tráfego, ao quantitativo de veículos,à velocidade média dos veículos e ao percentual dos veículos leves e pesados. Essas informações correspondem ao volume do tráfego, tendo como definição o número de veículos que passa por uma seção de via ou uma determinada faixa de via, durante um intervalo de tempo. Quanto aos dias de medição, optou-se por realizar a coleta de dados em dias típicos da semana, de terça a quinta-feira, por serem considerados dias em que o fluxo de veículos é semelhante e atinge os maiores índices. As medições ocorreram nos seguintes períodos: 30 de agosto, 04, 05, 18, 19 e 20 de setembro de 2018.

2.1. Caracterização da área de estudo

Para a análise criteriosa dos resultados e determinação das diretrizes projetuais, foram selecionados três recortes na área de influencia da BR-230 na cidade de João Pessoa (Figura 1). A definição desses recortes baseou- se nos resultados encontrados, priorizando as áreas mais problemáticas, isto é, as áreas que apresentaram maiores níveis de pressão sonora e maiores índices de densidade demográfica.



Figura 1: Mapa com a demarcação em tracejado vermelho dos recortes da pesquisa**.**

Foram escolhidos recortes que apresentassem características morfológicas distintas, passíveis de comparação. Por esse motivo, selecionaram-se áreas com e sem vegetação densa, topografia acidentada e plana, edificações com alturas baixas e altas, vias de diferentes classificações e os tipos de recobrimento do solo. Cada recorte apresentou quatrocentos metros de largura, sendo duzentos metros para cada lado do eixo da BR-230, e oitocentos metros de extensão, totalizando 0,32 km² de área.

Foram realizadas medições em horários de pico (07 às 08h; 18 às 19h) e dias típicos da semana (terça-feira à quinta-feira). Os dados de tráfego coletados foram o volume do tráfego total dos veículos, a velocidade média dos veículos leves e pesados e os percentuais de veículos leves e pesados. Os dados acústicos foram o LAeq.

O **recorte 01**, inserido no município de João Pessoa, apresenta uma fragmentação em relação ao tipo de uso do solo. O quadrante nordeste contém edificações voltadas ao uso comercial, institucional e serviço, enquanto que no quadrante sul as edificações são exclusivamente residenciais. Quanto ao gabarito, as edificações possuem, predominantemente, um e dois pavimentos. Nesse recorte há um edifício comercial com mais de dez pavimentos. A topografia é acidentada e são inexistentes áreas de vegetação densa. Presença de vias locais recobertas com paralelepípedo (Figura 2).



Figura 2: Imagem referente à área do recorte 01

O **recorte 02** é fragmentado pela BR-230. De um lado há uma grande área de vegetação densa, correspondente à Mata Atlântica, e do outro lado existe grande adensamento urbano. Esse adensamento é formado por edificações de uso residencial e comercial com alturas predominantes entre quatro e seis pavimentos e acima de dez pavimentos. Destaca-se a presença de quatro edificações residenciais multifamiliares, cada uma com vinte pavimentos, posicionadas nas margens da BR-230 (Figura 3). A topografia nessa área é, predominantemente, plana. As vias presentes no recorte 02 são coletoras e locais, revestidas por asfalto e paralelepípedo, respectivamente.



Figura 3: Imagem das quatro edificações de múltiplos pavimentos inseridas no recorte 02

O **recorte 03**, também inserido no município de João Pessoa, apresenta duas características principais: de um lado da BR-230 há um grande adensamento urbano com edificações de uso comercial (nas margens da rodovia) e uso residencial; do lado oposto há grandes áreas vazias e algumas edificações de

uso institucional. As edificações presentes nesse recorte possuem até três pavimentos. A topografia varia em, aproximadamente, 15 metros de altura e as vias são locais com recobrimento em paralelepípedo. A Figura 4 apresenta o recorte 03 com vista para a BR-230, cujo recobrimento é asfáltico.



Figura 4: Imagem referente à área do recorte 03

2.2 Procedimentos para a elaboração dos cenários hipotéticos

Após avaliar o ruído de tráfego presente na área de influência da BR-230 no município de João Pessoa, foram realizadas intervenções para proporcionar a mitigação do ruído em excesso identificado. Essas intervenções foram realizadas nos três recortes estudados.

O intuito desse estudo foi avaliar a influência dos critérios de planejamento urbano e suas combinações para a redução da exposição da população ao ruído de tráfego rodoviário no universo de estudo. Desta forma, foram estabelecidos cenários hipotéticos com soluções isoladas e com combinações entre as soluções (Quadro 1).

Quadro 1: Descrição dos cenários hipotéticos

Cenários hipotéticos	Caracterização
CH 01	Recobrimento poroso
CH 02	Redução da velocidade média em 10 km/h
CH 03	Barreira acústica
CH 04	Talude
CH 05	Recobrimento poroso + redução da velocidade média em 10 km/h
CH 06	Recobrimento do solo + barreira acústica
CH 07	Recobrimento do solo + talude
CH 08	Recobrimento do solo + redução da velocidade média em 10 km/h + barreira acústica
CH 09	Recobrimento do solo + redução da velocidade média em 10 km/h + talude
CH 10	Redução da velocidade média em 10 km/h + barreira acústica
CH 11	Redução da velocidade média em 10 km/h + talude
CH 12	Talude + barreira acústica

4. Análise e discussão dos resultados

São apresentados, a seguir, os resultados do comparativo entre os cenários reais e os cenários hipotéticos (conforme descritos no Quadro 1), em ordem do 1º até o 12º cenário, dos três recortes extraídos do universo de estudo. Os resultados estão disponíveis em tabelas, onde os valores do corpo de cada tabela apresentam as frequências absoluta e relativa. Por exemplo, no intervalo de ruído entre 45 e 50 dB, os valores contidos na primeira linha correspondem à frequência de ocorrência (frequência absoluta) e os valores contidos na segunda linha correspondem à relação entre os resultados dos cenários hipotéticos com o resultado do cenário real (frequência relativa, com valores em negrito). Os percentuais negativos correspondem ao decaimento do quantitativo em relação ao cenário real (valores entre parênteses nas tabelas) e os percentuais positivos representam o aumento do quantitativo em relação ao cenário real. Destaca-se que os intervalos de ruído contidos na primeira coluna foram estabelecidos com base nos intervalos presentes nos mapas de ruído.

4.1 Intervenções no recorte 01

A Tabela 1 apresenta os níveis de pressão sonora a que as edificações residenciais do recorte 01 estão expostas. Observa-se que a tabela foi organizada com base em intervalos de níveis de pressão sonora semelhantes aos utilizados nos mapas de ruído.

Tabela 1: Síntese dos níveis de pressão sonora a que as edificações residenciais do recorte 01 estão expostas (relação entre o cenário real e os cenários hipotéticos)

Intervalo em dB	CR	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12
45 a 50	0	0	0	0	0	0	4	4	0	4	0	4	0
	0%	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**2,2**	**2,2**	**0,0**	**2,2**	**0,0**	**2,2**	**0,0**
50 a 55	3	4	4	4	6	6	2	4	5	3	5	3	6
	1,70%	**0,5**	**0,5**	**0,57**	**1,7**	**1,7**	**(-0,5)**	**0,5**	**1,1**	**0,0**	**1,14**	**0,0**	**1,7**
55 a 60	6	5	5	10	16	10	16	37	9	18	9	18	8
	3,4%	**(-0,5)**	**(-0,5)**	**2,2**	**5,6**	**2,2**	**5,6**	**17,6**	**1,7**	**6,8**	**1,7**	**6,8**	**1,1**
60 a 65	62	69	69	98	142	104	139	130	115	148	114	148	116
	35,2%	**3,9**	**3,9**	**20,4**	**45,4**	**23,8**	**43,7**	**38,6**	**30,1**	**48,8**	**29,5**	**48,8**	**30,7**
65 a 70	71	72	72	64	12	54	15	1	47	3	46	3	46
	40,3%	**0,6**	**0,6**	**(-3,9)**	**(-33,5)**	**(-9,6)**	**(-31,8)**	**(-39,7)**	**(-13,6)**	**(-38,6)**	**(-14,2)**	**(-38,6)**	**(-14,2)**
70 a 75	32	26	26	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0
	18,2%	**(-3,4)**	**(-3,4)**	**(-18,2)**	**(-18,2)**	**(-17,0)**	**(-18,2)**	**(-18,2)**	**(-18,2)**	**(-18,2)**	**(-17,0)**	**(-18,2)**	**(-18,2)**
75 a 80	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,1%	**(-1,1)**	**(-1,1)**	**(-1,1)**	**(-1,1)**	**(-1,1)**	**(-1,1)**	**(-1,1)**	**(-1,1)**	**(-1,1)**	**(-1,1)**	**(-1,1)**	**(-1,1)**

Fonte: Brasileiro-Meneses, 2021.

Os resultados encontrados no comparativo entre os cenários hipotéticos e o cenário real revelaram decaimento nos intervalos entre 65 e 80 dB, exceto nos cenários CH01 e CH2 que obtiveram aumento no intervalo entre 65 e 70 dB. Os decaimentos mais significativos, com valores superiores a 38%, ocorreram no intervalo entre 65 e 70 dB nos cenários CH07, CH09 e CH11. Os cenários CH01 e CH02 apresentaram as menores alterações quando comparados ao cenário real.

Aumento predominante nos percentuais da exposição das edificações nos intervalos de ruído entre 45 e 65 dB. Os resultados mais significativos foram observados nos cenários CH04, CH06, H09 e CH11, ultrapassando 45% de aumento no intervalo entre 60 e 65 dB. Os resultados menos significativos foram encontrados nos cenários CH01 e CH02.

A Tabela 2 apresenta o comparativo entre os parâmetros da norma vigente e os níveis de pressão sonora em que as edificações residenciais estão expostas no recorte 01. Decaimento no percentual de exposição das edificações com conflito acima de 10 dB em todos os cenários hipotéticos. Esse decaimento apresentou maior percentual nos cenários CH07, CH09 e CH10, ultrapassando 57% de decaimento. Os menores decaimentos, inferiores a 4%, ocorreram nos cenários CH01 e CH02. As categorias sem conflito, com conflito entre 3 e 5 dB e com conflito entre 5 e 10 dB obtiveram aumento predominante, tendo a última apresentado alterações mais significativas. Os cenários CH04, CH06, CH09 e CH11 apresentaram, na categoria com conflito entre 5 e 10 dB, acréscimo superior a 43%. O termo conflito refere-se a diferença entre o ruído medido e o parâmetro estabelecido pela norma vigente.

Tabela 2 – Comparativo entre os parâmetros da norma e os níveis de pressão sonora a que as edificações residenciais estão expostas no recorte 01 (relação entre o cenário real e os cenários hipotéticos)

Intervalo em dB	CR	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12
Sem conflito	3	4	4	4	6	6	6	8	5	7	5	7	6
	1,7%	**0,5**	**0,5**	**0,5**	**1,7**	**1,7**	**1,7**	**2,8**	**1,1**	**2,2**	**1,1**	**2,2**	**1,7**
Conflito 3 e 5	6	5	5	10	16	10	16	37	9	18	9	18	8
	3,4%	**(-0,5)**	**(-0,5)**	**2,2**	**5,6**	**2,2**	**5,6**	**17,6**	**1,7**	**6,8**	**1,7**	**6,8**	**1,1**
Conflito 5 e 10	62	69	69	98	142	104	139	130	115	148	114	148	116
	35,2%	**3,9**	**3,9**	**20,4**	**45,4**	**23,8**	**43,7**	**38,6**	**30,1**	**48,8**	**29,5**	**48,8**	**30,6**
Conflito > 10	105	98	98	64	12	56	15	1	47	3	48	3	46
	59,6%	**(-3,9)**	**(-3,9)**	**(-23,3)**	**(-52,8)**	**(-27,8)**	**(-51,1)**	**(-59,0)**	**(-32,9)**	**(-57,9)**	**(-32,3)**	**(-57,9)**	**(-33,5)**

Fonte: Brasileiro-Meneses, 2021.

A Tabela 3 apresenta o comparativo entre a exposição da população ao ruído no cenário real e nos cenários hipotéticos. Percebe-se uma maior concentração da população na faixa de conflito superior a 10 dB.

Tabela 3 – Comparativo entre a exposição da população ao ruído no cenário real e nos cenários hipotéticos

Intervalo em dB	CR	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12
Sem conflito	66	180	180	180	297	183	297	353	180	300	300	180	183
	1,2%	**2,0**	**2,0**	**2,0**	**4,1**	**2,1**	**4,1**	**5,2**	**2,0**	**4,2**	**4,2**	**2,0**	**2,1**
Conflito 3 e 5	344	287	287	547	783	458	514	420	498	521	521	468	527
	6,2%	**(-1,0)**	**(-1,0)**	**3,6**	**7,9**	**2,0**	**3,0**	**1,3**	**2,7**	**3,2**	**3,2**	**2,2**	**3,3**
Conflito 5 e 10	3555	4.366	4.366	4.564	4.381	4.677	4.640	4.723	4.667	4.670	4.670	4.694	4.637
	64,4%	**14,6**	**14,6**	**18,2**	**14,9**	**20,3**	**19,6**	**21,1**	**20,1**	**20,2**	**20,2**	**20,6**	**19,6**
Conflito > 10	1.555	687	687	229	59	202	69	24	175	29	29	178	173
	28,1%	**(-15,7)**	**(-15,7)**	**(-24,0)**	**(-27,1)**	**(-24,5)**	**(-26,9)**	**(-27,7)**	**(-25,0)**	**(-27,6)**	**(-27,6)**	**(-24,9)**	**(-25,0)**

Fonte: Brasileiro-Meneses, 2021.

4.2 Intervenções no recorte 02

No recorte 02 foram simulados apenas sete cenários hipotéticos em virtude da ausência de uma área que fosse possível a instalação de taludes. Portanto, os cenários hipotéticos referentes ao talude e suas combinações não foram possíveis de elaborar.

A Tabela 4 apresenta os níveis de pressão sonora a que as edificações residenciais do recorte 02 estão expostas.

Tabela 4 – Síntese dos níveis de pressão sonora a que as edificações residenciais do recorte 02 estão expostas (relação entre o cenário real e os cenários hipotéticos)

Intervalo em dB	CR	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12
45 a 50	0	2	1	1		5	5		5		2		-
	0%	**1,1**	**0,5**	**0,5**	**-**	**2,8**	**2,8**	**-**	**2,8**	**-**	**1,1**	**-**	**-**
50 a 55	17	59	50	56		62	62		62		55		-
	9,6%	**23,7**	**18,6**	**22,3**	**-**	**25,4**	**25,4**	**-**	**25,4**	**-**	**21,4**	**-**	**-**
55 a 60	47	56	45	47		49	49		49		53		-
	26,5%	**5,1**	**(-1,1)**	**0,0**	**-**	**1,1**	**1,1**	**-**	**1,1**	**-**	**3,3**	**-**	**-**
60 a 65	62	23	38	34		24	24		24		30		-
	35%	**(-22)**	**(-13,5)**	**(-15,8)**	**-**	**(-21,4)**	**(-21,4)**	**-**	**(-21,4)**	**-**	**(-18,0)**	**-**	**-**
65 a 70	23	13	16	13		13	13		13		11		-
	13%	**(-5,6)**	**(-3,9)**	**(-5,6)**	**-**	**(-5,6)**	**(-5,6)**	**-**	**(-5,6)**	**-**	**(-6,7)**	**-**	**-**
70 a 75	20	16	19	18		16	16		16		18		-
	11,3%	**(-2,2)**	**(-0,5)**	**(-1,1)**	**-**	**(-2,2)**	**(-2,2)**	**-**	**(-2,2)**	**-**	**(-1,1)**	**-**	**-**
75 a 80	8	8	8	8		8	8		8		8		-
	4,5%	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**-**	**0,0**	**0,0**	**-**	**0,0**	**-**	**0,0**	**-**	**-**

Fonte: Brasileiro-Meneses, 2021.

O comparativo entre os cenários hipotéticos e o cenário real, referente à exposição das edificações ao ruído, resultaram em decaimento nos intervalos entre 60 e 75 dB em todos os cenários hipotéticos e entre 55 e 60 dB no cenário CH02. Os resultados mais significativos ocorreram no intervalo entre 60 e 65 dB, especialmente nos cenários CH05, CH06 e CH08, com valores superiores a 21%.

Aumento no percentual da exposição das edificações nos intervalos entre 45 e 60 dB, exceto nos cenários CH01 e CH02. Os resultados mais significativos foram apresentados no intervalo entre 50 e 55 dB nos cenários CH05, CH06 e CH8, com percentuais maiores que 25%.

Os cenários CH05, CH06 e CH08 apresentaram os mesmos resultados. Isto foi decorrente da configuração morfológica da área que apresentou afastamento significativo entre as edificações posicionadas no recorte 02.

A Tabela 5 apresenta o comparativo entre os parâmetros da norma vigente e os níveis de pressão sonora em que as edificações residenciais estão expostas no recorte 02. Decaimento no percentual de edificações situadas nas categorias com conflito entre 5 e 10 dB e com conflito acima de 10 dB. Os cenários CH05, CH06 e CH08 apresentaram os maiores decaimentos, apresentando valores acima de 21%.

Tabela 5 – Comparativo entre os parâmetros da norma e os níveis de pressão sonora a que as edificações residenciais estão expostas no recorte 02 (relação entre o cenário real e os cenários hipotéticos)

Intervalo em dB	CR	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12
Sem conflito	17	61	51	57		67	67		67		57		-
	9,6%	**24,8**	**19,2**	**22,6**	**-**	**28,2**	**28,2**	**-**	**28,2**	**-**	**22,6**	**-**	**-**
Conflito 3 e 5	47	56	45	47		49	49		49		53		-
	26,5%	**5,0**	**(-1,1)**	**0,0**	**-**	**1,1**	**1,1**	**-**	**1,1**	**-**	**3,3**	**-**	**-**
Conflito 5 e 10	62	23	38	34		24	24		24		30		-
	35,0%	**(-22,0)**	**(-13,5)**	**(-15,8)**	**-**	**(-21,4)**	**(-21,4)**	**-**	**(-21,4)**	**-**	**(-18,0)**	**-**	**-**
Conflito > 10	51	37	43	39		37	37		37		37		-
	28,8%	**(-7,9)**	**(-4,5)**	**(-6,7)**	**-**	**(-7,9)**	**(-7,9)**	**-**	**(-7,9)**	**-**	**(-7,9)**	**-**	**-**

Fonte: Brasileiro-Meneses, 2021.

Aumento no percentual referente à exposição das edificações nas categorias sem conflito e categoria com conflito entre 3 e 5 dB. As maiores alterações ocorreram nos percentuais dos cenários CH05, CH06 e CH08 na categoria sem conflito, ultrapassando 28%. Contudo, os aumentos presentes na categoria com conflito entre 3 e 5 dB foram pouco significativos.

Semelhante aos resultados contidos na Tabela 5, os cenários CH05, CH06 e CH08 apresentaram os mesmos resultados.

A Tabela 6 apresenta o comparativo entre a exposição da população ao ruído no cenário real e nos cenários hipotéticos, em ordem do 1º até o 12º cenário.

Tabela 6 – Comparativo entre a exposição da população ao ruído no cenário real e nos cenários hipotéticos

Intervalo em dB	CR	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12
Sem conflito	663	937	689	905		1056	1056		1056		905		-
	15,1%	**6,2**	**0,5**	**5,5**	**-**	**8,9**	**8,9**	**-**	**8,9**	**-**	**5,5**	**-**	**-**
Conflito 3 e 5	1057	1202	937	809		862	862		862		827		-
	24,1%	**3,3**	**(-2,7)**	**(-5,6)**	**-**	**(-4,4)**	**(-4,4)**	**-**	**(-4,4)**	**-**	**(-5,2)**	**-**	**-**
Conflito 5 e 10	697	502	997	920		723	723		723		909		-
	15,9%	**(-4,4)**	**6,8**	**5,1**	**-**	**0,5**	**0,5**	**-**	**0,5**	**-**	**4,8**	**-**	**-**
Conflito > 10	1.957	1.733	1.751	1.740		1.733	1.733		1.733		1.733		-
	44,7%	**(-5,1)**	**(-4,7)**	**(-4,9)**	**-**	**(-5,1)**	**(-5,1)**	**-**	**(-5,1)**	**-**	**(-5,1)**	**-**	**-**

Fonte: Brasileiro-Meneses, 2021.

Observa-se decaimento no percentual da exposição da população contida na categoria de conflito acima de 10 dB. A variação percentual entre os cenários hipotéticos foi semelhante, variando entre 4,7 e 5,1%. Decaimentos também foram observados na categoria com conflito entre 3 e 5 dB. Aumento no percentual de exposição nas categorias sem conflito e com conflito entre 5 e 10 dB.

Os cenários que apresentaram melhores resultados, levando em consideração a diminuição da exposição das residenciais e pessoas ao ruído, foram os CH05, CH06 e CH08. Estes cenários têm em comum a presença de barreiras acústicas, demonstrando que este é o elemento que melhor atenuou o ruído da

área. O uso do pavimento poroso e a redução de 10km/h na velocidade média dos veículos provocaram pequenas interferências nos resultados.

6.3.4 Intervenções no recorte 03

A Tabela 7 apresenta os níveis de pressão sonora a que as edificações residenciais do recorte 03 estão expostas.

Tabela 7 – Síntese dos níveis de pressão sonora a que as edificações residenciais do recorte 03 estão expostas (relação entre o cenário real e os cenários hipotéticos)

Intervalo em dB	CR	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12
45 a 50	0	0	0	0	0	0	0	5	0	5	0	0	0
	0,0%	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**1,6**	**0,0**	**1,6**	**0,0**	**0,0**	**0,0**
50 a 55	0	11	0	2	14	15	30	56	52	58	5	15	6
	0,0%	**3,6**	**0,0**	**0,6**	**4,6**	**4,9**	**9,8**	**18,4**	**17,1**	**19,0**	**1,6**	**4,9**	**1,9**
55 a 60	22	127	55	84	135	120	138	157	133	153	114	140	95
	7,2%	**34,5**	**10,8**	**20,3**	**37,1**	**32,2**	**38,1**	**44,4**	**36,5**	**43,0**	**30,2**	**38,8**	**24,0**
60 a 65	239	150	223	204	154	153	136	86	119	88	180	148	191
	78,6%	**(-29,2)**	**(-5,2)**	**(-11,5)**	**(-27,9)**	**(-28,2)**	**(-33,8)**	**(-50,3)**	**(-39,4)**	**(-49,6)**	**(-19,4)**	**(-29,9)**	**(-15,8)**
65 a 70	28	16	13	14	1	16	0	0	0	0	5	1	12
	9,2%	**(-3,9)**	**(-4,9)**	**(-4,6)**	**(-8,8)**	**(-3,9)**	**(-9,2)**	**(-9,2)**	**(-9,2)**	**(-9,2)**	**(-7,5)**	**(-8,8)**	**(-5,2)**
70 a 75	12	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3,9%	**(-3,9)**	**0,4**	**(-3,9)**	**(-3,9)**	**(-3,9)**	**(-3,9)**	**(-3,9)**	**(-3,9)**	**(-3,9)**	**(-3,9)**	**(-3,9)**	**(-3,9)**
75 a 80	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,9%	**(-0,99)**	**(-0,9)**	**(-0,9)**	**(-0,9)**	**(-0,9)**	**(-0,9)**	**(-0,9)**	**(-0,9)**	**(-0,9)**	**(-0,9)**	**(-0,9)**	**(-0,9)**

Fonte: Brasileiro-Meneses, 2021.

Os resultados obtidos nos cenários hipotéticos do recorte 03 quando comparados ao cenário real demonstraram decaimento no percentual da exposição da população nos intervalos de ruído a partir de 60 dB. Os decaimentos foram mais representativos no intervalo entre 60 e 65 dB, especialmente nos cenários CH07, CH08 e CH09, que ultrapassaram 39%. Em contrapartida, o cenário CH02 foi o que presentou decaimentos menos significativos.

Os aumentos nos percentuais da exposição das edificações ocorreram predominantemente nos intervalos entre 50 e 55 dB e entre 55 e 60 dB. Os maiores aumentos foram registrados no intervalo entre 55 e 60 dB nos cenários CH06, CH07, CH09 e CH11, atingindo aproximadamente 40%. O menor percentual de aumento na categoria entre 50 e 55 dB ocorreu no cenário CH02.

O percentual de edificações expostas no intervalo de ruído entre 45 e 50 dB, nos cenários hipotéticos, permaneceu igual ao cenário real, exceto nos cenários CH07 e CH09 que obtiveram acréscimo pouco significativo de 1,6%.

A Tabela 8 apresenta o comparativo entre os parâmetros da norma vigente e os níveis de pressão sonora a que as edificações residenciais estão expostas no recorte 03.

Tabela 8 – Comparativo entre os parâmetros da norma e os níveis de pressão sonora a que as edificações residenciais estão expostas no recorte 03 (relação entre o cenário real e os cenários hipotéticos)

Intervalo em dB	CR	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12
Sem conflito	0	11	0	2	14	15	30	61	52	63	5	15	6
	0,0%	**3,6**	**0,0**	**0,6**	**4,61**	**4,9**	**9,8**	**20,0**	**17,1**	**20,7**	**1,6**	**4,9**	**1,9**
Conflito 3 e 5	22	127	55	84	135	120	138	157	133	153	114	140	95
	7,2%	**34,5**	**10,8**	**20,3**	**37,1**	**32,2**	**38,1**	**44,4**	**36,5**	**43,1**	**30,2**	**38,8**	**24,0**
Conflito 5 e 10	239	150	223	204	154	153	136	86	119	88	180	148	191
	78,6%	**(-29,2)**	**(-5,2)**	**(-11,5)**	**(-27,9)**	**(-28,2)**	**(-33,8)**	**(-50,3)**	**(-39,4)**	**(-49,6)**	**(-19,4)**	**(-29,9)**	**(-15,8)**
Conflito > 10	43	16	26	14	1	16	0	0	0	0	5	1	12
	14,1%	**(-8,8)**	**(-5,5)**	**(-9,5)**	**(-13,8)**	**(-8,8)**	**(-14,1)**	**(-14,1)**	**(-14,1)**	**(-14,1)**	**(-12,5)**	**(-13,8)**	**(-10,2)**

Fonte: Brasileiro-Meneses, 2021.

Quanto à relação entre a exposição das edificações ao ruído e os parâmetros da norma, houve redução no percentual das edificações contidas nas categorias com conflito entre 5 e 10 dB e com conflito acima de 10 dB. Os percentuais mais significativos de diminuição foram resultantes na categoria com conflito entre 5 e 10 dB nos cenários CH07 e CH09, com percentual aproximado de 50%. Os menores decaimentos ocorreram nos cenários CH01 e CH02.

Aumento nos percentuais da exposição das edificações nas categorias sem conflito e com conflito entre 3 e 5 dB, exceto no CH02 que permaneceu estável na categoria sem conflito. Os maiores aumentos foram registrados na categoria com conflito entre 3 e 5 dB nos cenários CH06, CH07, CH09 e CH11. Os menores acréscimos ocorreram nos cenários CH01 e CH02.

A Tabela 9 apresenta o comparativo entre a exposição da população ao ruído no cenário real e nos cenários hipotéticos, em ordem do 1º até o 12º cenário.

Observa-se decaimento no percentual da exposição da população ao ruído com conflito entre 5 e 10 dB e acima de 10 dB em todos os cenários hipotéticos. Esse decaimento ultrapassou 29% nos cenários CH07, CH08 e CH09 e demonstrou alterações significativas, exceto no CH02 que a redução foi de apenas 1%.

Tabela 9 – Comparativo entre a exposição da população ao ruído no cenário real e nos cenários hipotéticos

Intervalo em dB	CR	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12
Sem conflito	0	38	0	7	49	52	104	212	181	219	17	52	21
	0,0%	**3,0**	**0,0**	**0,5**	**3,8**	**4,1**	**8,2**	**16,8**	**14,3**	**17,3**	**1,3**	**4,1**	**1,6**
Conflito 3 e 5	91	442	191	292	470	418	480	547	463	533	397	487	331
	7,2%	**27,8**	**7,9**	**15,9**	**30,0**	**25,9**	**30,8**	**36,1**	**29,5**	**35,0**	**24,2**	**31,4**	**19,0**
Conflito 5 e 10	991	724	978	912	738	721	677	502	617	509	829	719	867
	78,5%	**(-21,1)**	**(-1,0)**	**(-6,2)**	**(-20,0)**	**(-21,4)**	**(-24,9)**	**(-38,7)**	**(-29,6)**	**(-38,2)**	**(-12,8)**	**(-21,5)**	**(-9,8)**
Conflito > 10	179	57	92	50	4	70	0	0	0	0	18	3	42
	14,2%	**(-9,6)**	**(-6,9)**	**(-10,2)**	**(-13,8)**	**(-8,6)**	**(-14,2)**	**(-14,2)**	**(-14,2)**	**(-14,2)**	**(-12,7)**	**(-13,9)**	**(-10,8)**

Fonte: Brasileiro-Meneses, 2021.

Aumento predominante nos percentuais referentes às edificações contidas nas categorias sem conflito e com conflito entre 3 e 5 dB. Os aumentos mais significativos ocorreram na categoria com conflito entre 5 e 10 dB especialmente nos cenários CH04, CH06, CH07, CH09 e CH11, que obtiveram valores acima de 30%.

5. Considerações finais

Devido aos elevados níveis de pressão sonora a que as edificações e pessoas estão expostas, foram elaborados 12 cenários hipotéticos contendo critérios de planejamento urbano. Os recortes escolhidos para a avaliação foram representativos, por apresentarem características favoráveis para a aplicação dos critérios de planejamento.

A análise dos resultados referentes aos cenários hipotéticos levou em consideração o decaimento do número de edificações e pessoas expostas a ruídos em intervalos mais acentuados e aumento da exposição a ruídos de menores intensidades.

Os cenários hipotéticos apresentaram resultados satisfatórios quando os elementos utilizados foram barreiras acústicas e/ou taludes. A combinação desses elementos com o uso do pavimento poroso no recobrimento do solo foi a que apresentou melhores resultados em todos os recortes.

As reduções de 10 km/h e 20 km/h na velocidade média dos veículos não tiveram influência significativa na atenuação do ruído emitido pela BR-230.

Apesar do uso de elementos atenuadores de ruído, as pessoas expostas a níveis de pressão sonora superiores aos limites recomendados pela norma continuaram presentes nos recortes.

Os resultados encontrados na pesquisa instigam revisões nas normas e leis federais, estaduais e municipais e contribuem para reflexões sobre os planejamentos territorial e urbano.

Referências

1. VILLAÇA, Flávio. **O Espaço Intraurbano no Brasil.** 2ª ed. São Paulo: Studio, Nobel.
2. WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for community noise**, 2017.
3. SILVA, Prof. Pérides. **Acústica Arquitetônica & Condicionamento de AR.** 6ª ed. Belo Horizonte: Empresa Termo Acústica LTDA, 2011.
4. GARAVELLI, S. L.; MORAES, A. C.; NASCIMENTO, J. R. R.; NASCIMENTO, P. H. D. P.; MAROJA, A. M. **Mapa de ruído como ferramenta de gestão da poluição sonora:** Estudo de caso de Águas Claras- DF. 2010. Disponível em: < http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper377.pdf >
5. PALMA, Ajuntamento de. **Mapa estratégico de ruido**. Cartilha. 2008.
6. DIRECTIVE 2002/49/EC do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 e Junho de 2002, relativa à Avaliação e Gestão do Ruído Ambiente. **Official Journal of the European Communities**, p.12-25, 2002.
7. BRITO, Aurélio. **Tolerância Zero em Fortaleza.** Fortaleza: Premius, 2013.

OLIVEIRA NETO, Thiago. **Rodovia Transamazônica:** Falência de um grande Projeto Geopolítico. 3 ed. rev., Geonorte. Amazonas: Revista Geonorte, 2013.

8. CASTRO, A. A. B. da C. **Interfaces rodoviário-urbanas na produção da cidade:** Estudo de caso do contorno rodoviário de João Pessoa-PB. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.