

# Evolução do ruído urbano no período pandêmico em uma cidade de médio porte

*Evaluation of urban noise during the pandemic period in a medium sized city*

Lucas Delloso Penteado   
André Luis Christoforo   
Léa Cristina Lucas de Souza 

## Resumo

**E**ste artigo relata um estudo sobre a evolução do ruído urbano na cidade de São Carlos, SP, a partir de medições acústicas durante um período de pandemia da Covid-19, e propõe modelos de predição do nível de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ), com o objetivo de verificar a influência da variação da composição do tráfego veicular no ruído medido. Um estudo de caso é apresentado, considerando cinco pontos amostrais no centro do município. Medições acústicas foram realizadas concomitantemente com a contagem de veículos. Com base nos dados coletados, analisou-se a variação da composição do tráfego e do ruído medido ao decorrer das flexibilizações das medidas restritivas. Modelos de regressão múltipla foram elaborados para observar a influência de cada tipo de veículo na geração do ruído urbano. Os resultados obtidos indicaram a redução do nível de ruído abaixo dos limites estipulados pela NBR 10151:2019, na 1ª medição (maio de 2020). Na última medição (novembro de 2021), os níveis  $L_{Aeq}$  estiveram superiores aos medidos antes do período pandêmico, mesmo com a vigência de algumas medidas de restrição. Os modelos de regressão propostos evidenciaram a contribuição das motocicletas no ruído urbano e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) dos modelos foram superiores a 0,75, validando os modelos gerados.

**Palavras-chave:** Ruído. Poluição sonora. Planejamento urbano. Tráfego veicular.

## Abstract

*This article describes a study on the evolution of urban noise in the city of São Carlos, SP, Brazil based on acoustic measurements carried out during the COVID-19 pandemic period and proposes models to predict the sound pressure level ( $L_{Aeq}$ ), in order to verify the influence of the variation of the vehicular traffic composition on the measured noise. A study is presented, considering five measuring points in the centre of the city. Acoustic measurements were collected concurrently with vehicle counts. Based on the collected data, the results were analysed: variation in traffic composition and noise measured during the flexibilisation of the restrictive measures. Multiple regression models were developed to verify the influence of each type of vehicle on the generation of urban noise. The results obtained made it possible to verify a reduction in the noise level in the beginning of the pandemic, in May 2020. In November 2021 the  $L_{Aeq}$  levels were higher than those measured before the pandemic period, even with some restriction measures still in place. The proposed regression models showed the increasing contribution of motorcycles to urban noise. The correlation coefficient ( $R^2$ ) of the models were greater than 0.75, validating the generated models.*

**Keywords:** Noise. Noise pollution. Urban planning. Vehicular traffic.

<sup>1</sup>Lucas Delloso Penteado  
Universidade Federal de São Carlos  
São Carlos -SP - Brasil

<sup>2</sup>André Luis Christoforo  
Universidade Federal de São Carlos  
São Carlos -SP - Brasil

<sup>3</sup>Léa Cristina Lucas de Souza  
Universidade Federal de São Carlos  
São Carlos -SP - Brasil

Recebido em 23/04/22  
Aceito em 09/07/22

## Introdução

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WORLD..., 2018) a exposição ao ruído urbano interfere na qualidade de vida dos cidadãos. Estudos realizados associam a exposição à poluição sonora ao desenvolvimento de doenças, tais como: doenças cardiovasculares (THACHER *et al.*, 2022), diabetes (ROSWALL *et al.*, 2018), distúrbios de sono (SONAK *et al.*, 2022) e distúrbios psicológicos (GONG *et al.*, 2022), entre outros.

A preocupação com a poluição sonora, principalmente referente ao ruído de tráfego, tornou-se evidente a partir de 2002, quando o Parlamento Europeu publicou a Diretiva 49 (Directive2002/49/EC) (PARLAMENTO..., 2002), que indicava a utilização de métodos para o cálculo de níveis de ruído do tráfego urbano, e obrigava que todas as cidades europeias com mais de 250 mil habitantes elaborassem o mapeamento do ruído, no prazo de 2 anos após a entrada em vigor dessa diretriz. Um desses métodos adotados foi proposto pelo projeto CNOSSOS-EU (KEPHALOPOULOS *et al.*, 2014), o qual apresenta um modelo de predição baseado na análise do tráfego viário, para desenvolver os mapas de ruído.

Os mapas de ruído elaborados de acordo com a Diretiva Europeia utilizam o nível de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ) como parâmetro acústico, e contribuem como ferramentas de planejamento urbano e de tomada de decisões entre medidas mitigadoras para a diminuição da geração de ruídos (MORILLAS *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2020). No decorrer dos anos, a elaboração de modelos de predição de ruído urbano foi se desenvolvendo, visto que cada cidade apresenta características locais de composição de tráfego (RANPISE; TANDEL; SINGH, 2021; KHAN *et al.*, 2021).

No Brasil, percebe-se que a preocupação com o ruído urbano está presente por meio de atos normativos como: legislações vigentes, normas técnicas e planos diretores. No entanto, o processo de mensuração do ruído está restrito, na maioria das vezes, às pesquisas na área acadêmica, ou em pontos específicos de interesse da malha urbana, visto o custo operacional para a aquisição de equipamentos e a realização das medições, como pode ser observado na elaboração de mapas de ruído (PENTEADO; SOUZA; CHRISTOFORO, 2018; NASCIMENTO *et al.*, 2021; MAGIOLI; TORRES, 2018).

A problemática do ruído urbano é ampla, podendo interferir em vários momentos na vida dos cidadãos. Lopez e Souza (2020) analisaram a influência do ruído de tráfego veicular na percepção do pedestre. Os resultados mostram que os pedestres estão expostos a níveis excessivos de ruído veicular, acima dos valores permitidos pela NBR 10151 (ABNT, 2019), em todos os pontos das duas rotas analisadas. Bressane *et al.* (2016) analisaram o desconforto do ruído de tráfego na população de Rio Claro, por meio de medições e aplicação de questionário. Verificaram que dos 35 pontos avaliados quanto ao grau de desconforto gerado pelo ruído veicular 22 pontos foram considerados desconfortáveis e 2 pontos foram classificados como muito desconfortável pela população. Na mesma temática, Zannin, Vieira e Silveira (2021) estudaram a percepção do ruído no *campus* da Universidade Federal do Paraná, e concluíram que altos níveis de ruído provenientes do tráfego veicular, em salas de aula e em laboratórios de pesquisa, apresentaram efeitos colaterais, como: dificuldade de concentração, dores de cabeça e estresse, entre outros. Visando ao melhor planejamento urbano, Brito (2017) estudou ferramentas, como: realizações de medições, elaboração de mapas de ruído, aplicação de questionários e o uso de Software de Informação Geográfica (SIG) para a análise do ruído ambiental na cidade de Campos do Jordão. Concluiu que o uso de mapa de ruído pode melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, pois auxilia na análise de situações acústicas desfavoráveis, que são de difícil percepção para as pessoas que estão inseridas no cotidiano da região.

No final do ano de 2019, o mundo se deparou com o surgimento e a rápida disseminação da síndrome respiratória aguda Sars-CoV-2 (Covid-19). No início de 2020, a Organização Mundial da Saúde declarou a pandemia de Covid-19 como uma emergência, devido ao desconhecimento das características do vírus, rápido poder de transmissão e contaminação, agravamento da saúde de pacientes infectados, desconhecimento de medicamentos eficientes e insuficiência de leitos hospitalares para atendimento aos infectados. Como medida mitigadora, os governos de vários países adotaram várias estratégias e trouxeram restrições severas de circulação para combater a propagação da pandemia de Covid-19 (LIU *et al.*, 2020).

Halle *et al.* (2021) criaram o índice de rigidez a partir das estratégias adotadas por cada país, diariamente. O índice de rigidez considera a percentual de atividades cotidianas impactadas por restrições, como: fechamento de escolas e de locais de trabalho, cancelamento de eventos públicos, campanhas de informação pública, restrições de reuniões públicas e deslocamento para atividades cotidianas, fechamento do transporte público e permanência em casa. Tais medidas restritivas diminuíram a circulação de pessoas e veículos, ocasionando a redução do ruído no meio urbano (MANDAL; PAL, 2020). Trabalhos realizados em alguns países, como: Espanha (ASENSIO; PAVÓN; ARCAS, 2020), Itália (ALETTA *et al.*, 2020), Suécia (RUMPLER; VENKATARAMEN; GÖRANSSON, 2020) e Argentina (SAID *et al.*, 2020) indicaram a redução do ruído

urbano nesse período. No Brasil, pesquisas realizadas até o momento evidenciaram a diminuição do ruído na cidade de São Paulo entre os meses de março a junho de 2020, sendo que em alguns pontos a diminuição foi de até 10 decibéis (AGÊNCIA..., 2022). Dessa forma, a elaboração deste artigo se contextualiza na análise da evolução do ruído em uma cidade de médio porte a partir de um recorte temporal no período pandêmico, entre maio de 2020 e novembro de 2021, definido pela restrição de circulação de veículos e pessoas causada pela Covid-19. Considera-se ainda a lacuna de pesquisas correlatas em municípios brasileiros, até o momento da elaboração deste artigo.

O objetivo principal deste artigo é apresentar uma análise da evolução do ruído urbano compreendido no período de maio de 2020 até novembro de 2021, por meio de um estudo de caso realizado na região central do município de São Carlos, SP, associando-se o nível do ruído com as medidas restritivas impostas nesse período. Além disso, são propostos modelos de previsão dos níveis de pressão sonora para cada período de medição, com a finalidade de verificar a influência da composição do tráfego viário no ruído.

## Método

### Área de estudo

A pesquisa foi realizada na cidade de São Carlos, localizada no interior do estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas 22°01'04" sul e 47°53'27" oeste. A cidade apresenta área de 1.143,9 km<sup>2</sup> e população estimada de 256.915 habitantes (INSTITUTO..., 2022). A localização da cidade e da região do estudo de caso é apresentada na Figura 1.

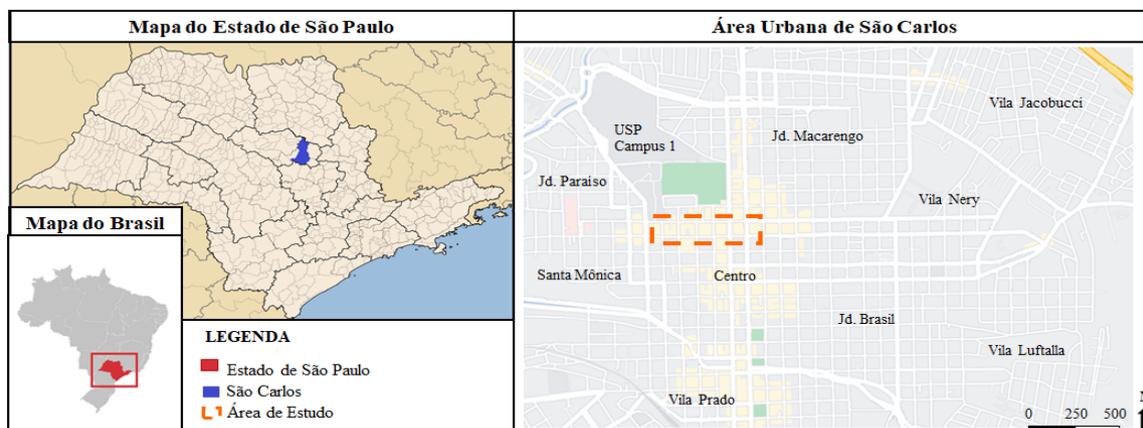
A região analisada situa-se no centro antigo do município, com grande densidade populacional, com vias de tráfego veicular intenso impulsionado pelo uso e ocupação da região classificada como comercial e residencial. A região é caracterizada com grande concentração de residências, estabelecimentos comerciais, escolas, clínicas médicas e hospitais.

### Coleta de dados acústicos e de tráfego veicular

A definição dos pontos de medição ocorreu através da classificação das vias da região do centro antigo do município, conforme ilustrado na Figura 2. Foram escolhidas as vias mais movimentadas da região de estudo, de tal forma que a coleta de dados acústicos e de tráfego veicular ficassem posicionados nas vias que formavam um binário, isto é: o fluxo de veículos de duas vias onde ocorreram as medições eram opostos, ora sentido bairro-centro e ora sentido inverso. Ao todo foram selecionadas cinco vias, sendo: Avenida São Carlos (ponto A), Rua Episcopal (ponto B), Rua Nove de Julho (ponto C), Rua XV de Novembro (ponto D) e Avenida Doutor Carlos Botelho (ponto E). As fotos dos pontos de medição foram tiradas no sentido contrário do fluxo de veículos.

A coleta de dados acústicos foi realizada de acordo com a NBR 10151 (ABNT, 2019) utilizando-se os sonômetros da marca Bruel & Kjaer, modelo *hand-held analyser* 2270. Antes de cada medição o aparelho foi calibrado com o calibrador 4231 da mesma marca, foram utilizados protetores de vento durante as medições. O equipamento foi posicionado a uma distância de 2,0 metros de superfícies verticais, e 1,5 metro do solo, com o microfone direcionado para as vias estudadas.

Figura 1 - Delimitação da área de estudo



Fonte: adaptado de Google Maps (2022) e Wikimedia (2022).

Figura 2 - Localização dos pontos de coleta de dados acústicos e de tráfego veicular na região estudada



Fonte: mapa adaptado de Open Street Map (2022) e fotos do autor.

As medições ocorreram de forma individual. Em cada ponto analisado foram realizadas seis coletas de dados por período de medição. As medições foram realizadas entre terça-feira e quinta-feira. Não foram realizadas medições nos dias entre sexta-feira e segunda-feira, pois são considerados dias atípicos para o tráfego de veículos. O período de medição considerou o maior fluxo de veículos compreendido das 11h30 às 13h30. As medições de nível de pressão sonora foram analisadas com o parâmetro,  $L_{Aeq}$ , para intervalos de tempo de 15 minutos, em conjunto com a contabilização do número de veículos leves, pesados e motocicletas durante o tempo de medição.

Ao todo, quatro grupos de medições foram realizadas durante o período pandêmico em estudo:

- (a) 1ª medição realizada no mês de maio de 2020;
- (b) 2ª medição, no mês de novembro de 2020;
- (c) 3ª medição, no mês de maio de 2021;
- (d) 4ª medição, no mês de novembro de 2021.

Os dados utilizados para a comparação do período pré-pandêmico foram obtidos no ano de 2017, com medições realizadas na mesma região, no período de maio a setembro, conforme resultados apresentados por Penteadó, Souza e Christoforo (2018) e Penteadó (2018).

## Dados de isolamento social

Os índices de rigidez referentes às medidas adotadas pelos governos de cada país para combater a pandemia da Covid-19, coletados por Halle *et al.* (2021), e os dados referentes à taxa de isolamento social (SISTEMA..., 2020) no município de São Carlos foram coletados durante todos os períodos anteriormente citados. Na Tabela 1 são apresentados os índices de rigidez os quais consideram o percentual de atividades cotidianas impactadas por restrições de circulação impostas pelo governo de cada país. Quanto mais próximo de 100 for o índice de rigidez, mais rígidas são as ações restritivas impostas pelas medidas governamentais. Como critério de comparação, além dos dados referentes ao Brasil, foram disponibilizados os índices para: Argentina, Chile, Estados Unidos e Itália.

Os valores apresentados na Tabela 1 referem-se a sete períodos distintos. O primeiro período refere-se ao dia 26/02/2020, quando o primeiro caso de Covid-19 foi confirmado no Brasil, tal caso foi importado da Itália. Comparando-se índices de rigidez entre Brasil e Itália, em fevereiro de 2020, os valores eram 5,56 e 64,35, respectivamente, evidenciando severas medidas restritivas na Itália. Os demais valores foram obtidos no

primeiro dia de cada mês, os valores referentes a março e abril de 2020 estão disponibilizados de tal forma que permita verificar a evolução do enrijecimento das restrições impostas pelas medidas governamentais visando a menor movimentação de pessoas, tanto no país quanto de países vizinhos, com a finalidade de diminuir a propagação do vírus. Os valores dos índices de rigidez dos Estados Unidos e da Itália são apresentados como parâmetros de países que já estavam enfrentando momentos de disseminação comunitária do vírus em sua população.

Na Figura 3 são mostrados os valores do índice de rigidez para o Brasil (HALLE *et al.*, 2021) e da média mensal da taxa de isolamento social dos moradores do município de São Carlos, disponibilizados pelo Sistema de Monitoramento Inteligente do Governo de São Paulo (SIMI-SP) a partir de dados obtidos das redes de telefonia móvel, para o período da realização da pesquisa.

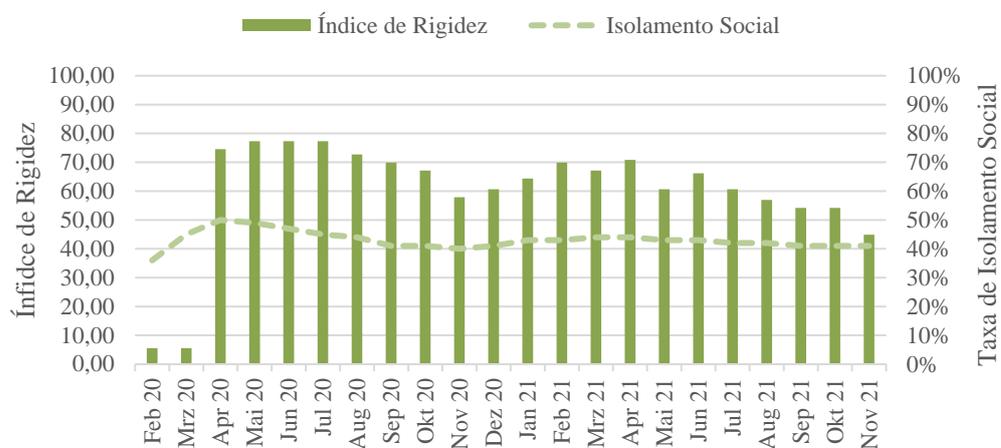
Com o aumento do número de casos de Covid-19 no Brasil, as medidas de rigidez propostas pelo governo se intensificaram nos meses de maio a julho de 2020, registrando 77,31 pontos na escala apresentada por Halle *et al.* (2021). A taxa de isolamento social para o mesmo período apresentou os seguintes valores: 49% em maio, 47% em junho e 45% em julho (SISTEMA..., 2020). A partir de agosto de 2020, os valores do índice de rigidez e da taxa de isolamento social foram diminuindo até o mês de novembro de 2020, e tal comportamento é justificado pela diminuição no número de pessoas contaminadas, conforme apresentado por Halle *et al.* (2021) e pelo Sistema de Monitoramento Inteligente do Governo de São Paulo (SIMI-SP). No entanto, a partir de dezembro de 2020, com o aumento do número de infectados e maior pressão ao sistema de saúde, as medidas de restrições retornaram. Para o período compreendido entre dezembro de 2020 e fevereiro de 2021, tanto o índice de rigidez quanto a taxa de isolamento social aumentaram, sendo que em abril de 2021 o índice de rigidez alcança 70,83 pontos (HALLE *et al.*, 2021) e a taxa de isolamento social é de 44% (SISTEMA..., 2020), evidenciando assim maior circulação de pessoas. Em maio de 2021, a diminuição no índice de rigidez é justificada pelo avanço da vacinação e pela diminuição dos números de casos. Sendo assim, inicia-se mais uma tentativa de flexibilização das medidas restritivas governamentais.

Tabela 1 - Índice de rigidez para os períodos de coleta de dados

Período País	fev/20	mar/20	abr/20	mai/20 1ª Medição	nov/20 2ª Medição	mai/21 3ª Medição	nov/21 4ª Medição
Argentina	11,11	11,11	100,00	88,89	81,94	77,31	42,59
Brasil	5,56	5,56	74,54	77,31	57,87	60,65	44,91
Chile	0,00	0,00	73,15	73,15	81,94	84,72	35,65
Estados Unidos	5,56	8,33	72,69	72,69	62,50	56,94	56,02
Itália	64,35	64,35	85,19	93,52	78,70	73,15	71,30

Fonte: Halle *et al.* (2021).

Figura 3 - Índice de rigidez para o Brasil e taxa de isolamento social para o município de São Carlos durante o período de coleta de dados



Fonte: Halle *et al.* (2021) e Sistema de Monitoramento Inteligente do Governo de São Paulo (2020).

No mês de maio de 2021, a taxa de isolamento social foi de 43% (SISTEMA..., 2020), seis pontos percentuais menor do que a taxa obtida em maio de 2020, e o índice de rigidez de 60,65 (HALLE *et al.*, 2021). No mês de novembro de 2021, a taxa de isolamento social obtida foi de 41% (SISTEMA..., 2020) e o índice de rigidez de 44,91 (HALLE *et al.*, 2021). A tendência de baixa apresentada no índice de rigidez e na taxa de isolamento social é explicada pelo avanço da vacinação, que se iniciou no Brasil no dia 17 de janeiro de 2021.

Em resumo, para a 1ª medição realizada em maio de 2020, os indicadores do índice de rigidez e taxa de isolamento social apresentavam altas taxas. Na 2ª medição, em novembro de 2020, medidas de isolamento tinham sido flexibilizadas. Na 3ª e 4ª medições, em maio de 2021 e novembro de 2021, os índices apresentaram os menores valores que em outros períodos.

## Modelos

As variáveis coletadas e utilizadas na determinação dos modelos que estimam o Nível de Pressão Sonora Equivalente ( $L_{Aeq}$ ) foram: quantidade de veículos leves (VLev), quantidade de veículos pesados (VPes), quantidade de motocicletas (VMot). Para cada modelo desenvolvido nesta pesquisa, foram utilizados os cinco pontos de coleta e as seis medições realizadas em cada período de medição. Os valores obtidos para a elaboração do modelo de 2017 foram publicados no trabalho de Penteadó (2018).

O modelo de regressão multivariável, apresentado na Equação 1, é baseado na análise de variância (ANOVA). Para estimar  $L_{Aeq}$  foram utilizados dados referentes ao tráfego de veículos, sendo  $\alpha_i$  os coeficientes obtidos pelo método dos mínimos quadrados atribuídos aos tipos de veículos geradores de ruído e  $\varepsilon$  o erro aleatório, possibilitando identificar as variáveis que mais afetam nos valores de nível de pressão sonora da região durante as medições.

$$L_{AeqCOLETA} = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot VLev + \alpha_2 \cdot VPes + \alpha_3 \cdot VMot + \varepsilon \quad \text{Eq. 1}$$

A análise de variância (ANOVA) dos modelos de regressão foi avaliada ao nível de 5% de significância, considerando a não significância (P-valor<0,05) dos modelos e dos coeficientes como hipótese nula e da significância como hipótese alternativa. Para validação dos modelos de regressão foi testada a normalidade dos resíduos, com o auxílio do teste de normalidade de Anderson-Darling, também considerado ao nível de 5% de significância e a independência dos resíduos, como apresentados nos gráficos de resíduos×ordem de observação, na Figura 7. Pelas hipóteses formuladas do teste de Anderson-Darling, P-valor maior ou igual a 0,05 implica na normalidade da distribuição dos resíduos, o que valida modelo da ANOVA.

## Resultados e discussões

### Dados de tráfego veicular

Os valores médios referentes à composição de tráfego veicular obtido analisando as seis medições realizadas em cada ponto são apresentados na Figura 4, separando os dados em veículos leves, pesados e motocicletas.

Verifica-se a primeira diferenciação dos estudos europeus como Rumpler, Venkataramen e Göransson (2020), que analisaram o ruído de tráfego na cidade de Estocolmo, e Basu *et al.* (2021) para a cidade de Dublin. Nesses estudos, a composição do tráfego europeu foi dividida somente em veículos leves e pesados, visto que nesses países a emissão de ruído de motocicletas se assemelha aos ruídos emitidos por veículos leves.

Na Tabela 2 são apresentados os valores da variação da quantidade média de veículos das seis medições realizadas em cada ponto, comparando os valores de 2017 (PENTEADO, 2018) com todos os valores obtidos durante as medições realizadas em 2020 e 2021. Os valores positivos representam incremento na quantidade de veículos que compõe o tráfego, já os valores negativos indicam diminuição no período analisado. Ao analisar os dados coletados na 1ª medição (maio de 2020), 2ª medição (novembro de 2020) e 3ª medição (maio de 2021), percebe-se que os valores obtidos diminuíram em relação aos de 2017.

Para os valores referentes à 1ª medição, verifica-se diminuição no número de veículos leves contabilizados, sendo 39% no ponto A, 59% no ponto B, 42% no ponto C, 30% no ponto D e 40% no ponto E. Tais valores condizem com o período de maior taxa de isolamento social (SISTEMA..., 2020) e maiores índices de rigidez medidos por Halle *et al.* (2021), mostrando a correlação entre medidas de restrição de circulação com a diminuição de viagens em veículos leves, conforme verificado também em pesquisas de Loo e Huang (2022) em Hong Kong, Muley *et al.* (2021) para o Catar, Ravina *et al.* (2021) para a cidade italiana de Turin e na cidade portuguesa do Porto por Pascale *et al.* (2022).

Figura 4 - Composição do tráfego viário médio das seis coletas de dados por ponto amostral

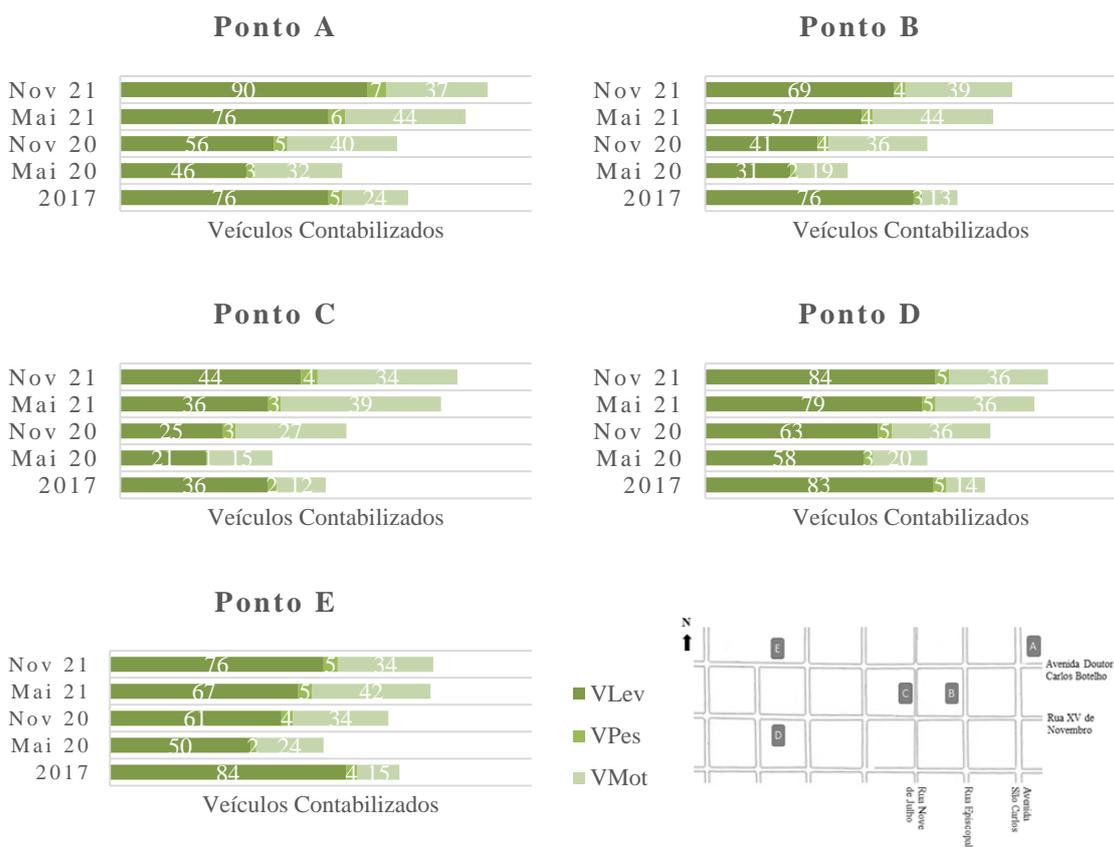


Tabela 2 - Comparação da variação da composição do tráfego veicular para os períodos de medição com os valores médios das seis coletas em cada ponto

Períodos analisados	Ponto A			Ponto B			Ponto C			Ponto D			Ponto E		
	VLev	VPes	VMot	VLev	VPes	VMot	VLev	VPes	VMot	VLev	VPes	VMot	VLev	VPes	VMot
2017 x mai/20	-39%	-40%	+33%	-59%	-33%	+46%	-42%	-50%	+25%	-30%	-40%	+43%	-40%	-50%	+60%
2017 x nov/20	-26%	0%	+67%	-46%	+33%	+177%	-31%	+50%	+125%	-24%	0%	+157%	-27%	0%	+127%
2017 x mai/21	0%	+20	+83%	-25%	+33%	+238%	0%	+50%	+225%	-5%	0%	+157%	-20%	+25%	+180%
2017 x nov/21	+18%	+40%	+54%	-9%	+33%	+200%	+22%	+100%	+183%	+1%	0%	+157%	-10%	+25%	+127%
mai/20 x nov/20	+22%	+67%	+25%	+32%	+100%	+89%	+19%	+200%	+80%	+9%	+67%	+80%	+22%	+100%	+42%
mai/20 x mai/21	+65%	+100%	+38%	+84%	+100%	+132%	+71%	+200%	+160%	+36%	+67%	+80%	+34%	+150%	+75%
mai/20 x nov/21	+96%	+133%	+16%	+123%	+100%	+105%	+110%	+300%	+127%	+45%	+67%	+80%	+52%	+150%	+42%
nov/20 x mai/21	+36%	+20%	+10%	+39%	0%	+22%	+44%	0%	+44%	+25%	0%	+8%	+10%	+25%	+24%
nov 20 x nov/21	+61%	+40%	-8%	+68%	0%	+8%	+76%	+33%	+26%	+33%	0%	+11%	+25%	+25%	0%
mai/21 x nov/21	+18%	+17%	-16%	+21%	0%	-11%	+22%	+33%	+13%	+6%	0%	+3%	+13%	0%	+19%

Percebe-se que a partir da 4ª medição (novembro de 2021) quando comparada com os valores de 2017, a quantidade de veículos leves apresentou incremento apenas no ponto D (1%), evidenciando que ainda com medidas restritivas o número de veículos leves circulando nesse período já é maior do que os dados obtidos em 2017. Ao analisar os últimos períodos (maio e novembro de 2021) de medição a quantidade de veículos leves, verificou-se importante aumento da circulação de veículos leves, como é o caso dos pontos B e C. Ao se comparar o primeiro período de medição com o último período, observa-se que houve incremento de 123% e 110% para os pontos B e C, respectivamente.

A quantidade de veículos pesados contabilizada nas medições refere-se a um espaço amostral pequeno, variando de 2 a 7 veículos, ou seja, qualquer aumento no número de veículos pesados resulta em grande variação entre os períodos analisados, como verificado em todos os pontos, durante as medições.

Ao analisar os dados referentes ao número de motocicletas em cada medição verifica-se, desde a 1ª medição, quando comparado com os valores obtidos por Penteado (2018), relevante crescimento, sendo que os maiores valores percentuais foram para: ponto B (46%), ponto D (43%) e ponto E (60%). Tal variação no número de motocicletas é explicado, pois devido às restrições de circulação e ao comércio fechado para atendimento ao público, os comerciantes adotaram o serviço de entregas, com o uso de motocicletas. Ao se analisar os outros períodos pode ser observado incremento na quantidade de motocicletas exceto: ponto A na comparação entre 2ª e 3ª medições e na comparação da 3ª e 4ª medições, com redução de 8% e 16%, respectivamente; ponto B na comparação entre maio de 2021 e novembro 2021, que apresentou redução de 11% no número de motocicletas. Essa redução é justificada pois, com a flexibilização das medidas restritivas, maior quantidade de veículos de transporte público (veículos pesados) circulou na Avenida São Carlos (ponto A), diminuindo o número de motocicletas, e na Rua Episcopal (ponto B), que compõe o binário, essa diminuição também foi verificada, como apresentado na Figura 4.

Ao analisar o crescimento do número de veículos leves, pesados e motocicletas no período de 2017 a 2020, percebe-se que nos valores disponibilizados pela Secretaria Municipal de Trânsito do município de São Carlos (SECRETARIA..., 2020) há aumento de 0,42% no número de veículos pesados, 8,42% no número de veículos leves e de 8,75% no número de motocicletas cadastradas no município. A discrepância nos valores contabilizados na circulação de motocicletas no período analisado pode ser justificada:

- (a) pelo aumento do uso de entregas de mercadorias pelos estabelecimentos comerciais utilizando motocicletas;
- (b) pela diminuição da disponibilidade de transporte público; e
- (c) pela substituição de deslocamento de veículos leves por motocicletas.

## Dados acústicos

Os valores obtidos dos níveis de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ), para os grupos de medições são apresentados na Figura 5. Na Tabela 3 são apresentadas as variações, em decibel (dB), por meio de médias logarítmicas de  $L_{Aeq}$ , obtidas a partir das seis coletas nos pontos analisados. As médias logarítmicas foram comparadas entre os períodos estudados. Os valores positivos da Tabela 3 significam aumentos no nível de pressão sonora e os valores negativos, redução para o período analisado.

De acordo com Penteado (2018), exceto algumas medições realizadas no ponto C (Rua 9 de Julho), todas as outras coletas de dados dos pontos amostrais, no período de 2017, apresentaram valores superiores a 60 dB, que de acordo com a NBR 10151 (ABNT, 2019) é o limite para o período diurno para a região de uso misto com predominância de atividades comerciais.

Na primeira 1ª medição realizada no período pandêmico, em maio de 2020, verificou-se a redução dos níveis de pressão sonora em todos os pontos coletados, e exceto pelos valores medidos no ponto A (Avenida São Carlos), todos os outros pontos apresentam valores de  $L_{Aeq}$  inferiores aos previstos para região, segundo a NBR 10151 (ABNT, 2019). Essa diminuição dos níveis de ruído, durante os primeiros meses da pandemia, também foi identificada em diversos trabalhos em cidades como: Madrid (ASENSIO; PAVÓN; ARCAS, 2020), Girona (ALSINA-PAGÈS; BERGADÀ; MARTÍNEZ-SUQUÏA, 2021), Roma (ALETTA *et al.*, 2020), Buenos Aires (SAID *et al.*, 2020), na Índia em Dwarka (MANDAL; PAL, 2020) e está associado à diminuição do tráfego de veículos.

Figura 5 - Níveis de pressão sonora das medições realizadas nos pontos amostrais

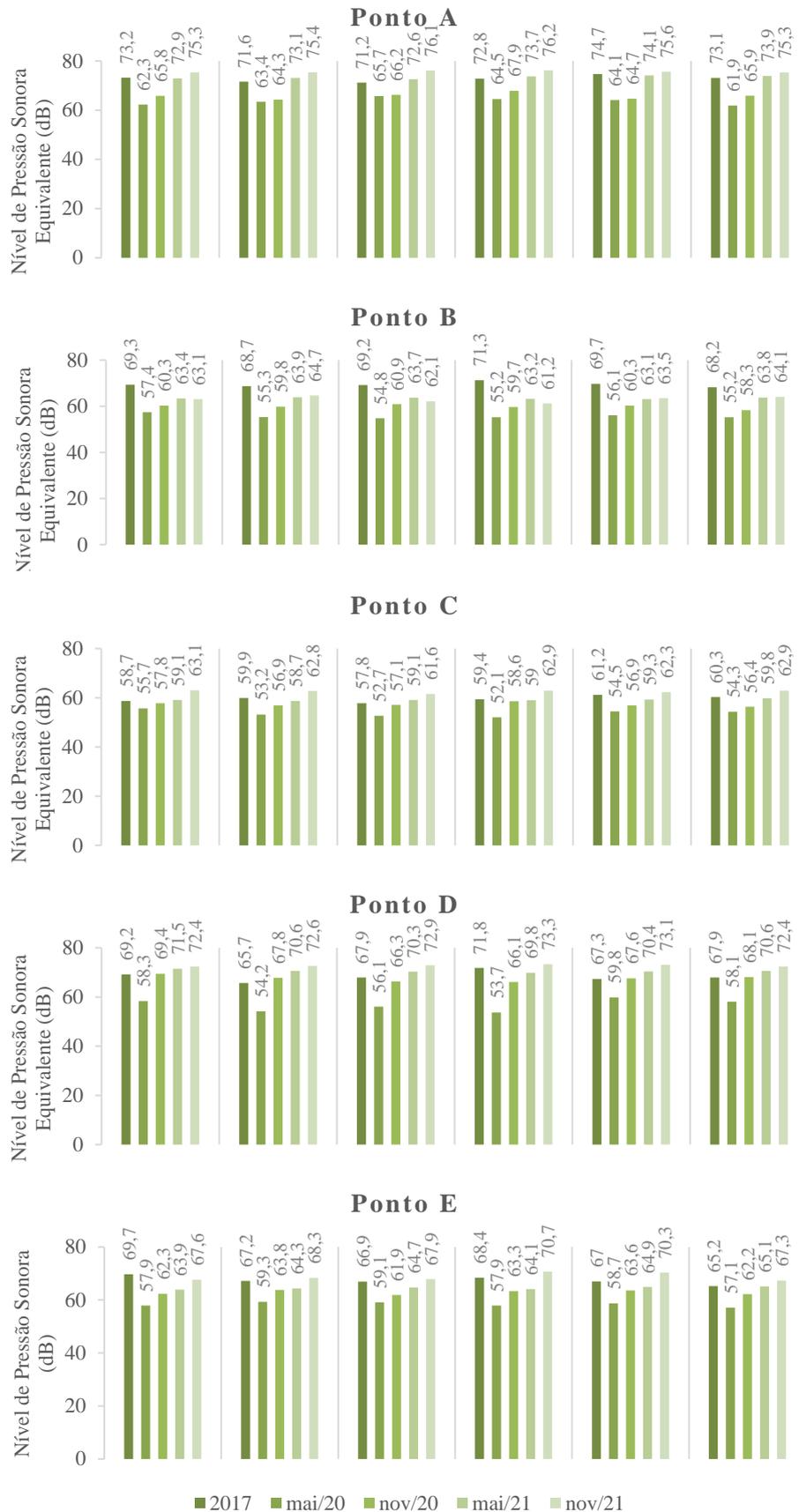


Tabela 3 - Comparação da variação dos níveis de pressão sonora para os períodos de medição, com os valores obtidos por meio da média logarítmica das 6 coletas em cada ponto, em dB

Períodos analisados	Ponto A	Ponto B	Ponto C	Ponto D	Ponto E
2017 x mai/20	-8,8	-13,8	-5,8	-9,2	-11,5
2017 x nov/20	-7,0	-9,6	-2,3	-4,7	-1,0
2017 x mai/21	+0,5	+6,0	-0,5	-3,1	+1,8
2017 x nov/21	+2,7	+6,2	+2,9	+1,3	+4,1
mai/20 x nov/20	+1,8	+4,2	+3,4	+4,5	+10,4
mai/20 x mai/21	+9,3	+7,8	+5,3	+6,1	+13,3
mai/20 x nov/21	+11,5	+7,5	+8,7	+10,5	+15,6
nov/20 x mai/21	+7,5	+3,6	+1,8	+1,6	+2,9
nov 20 x nov/21	+9,7	+3,3	+5,3	+6,0	+5,1
mai/21 x nov/21	+2,2	+0,3	+3,4	+4,4	+2,2

Os pontos que apresentaram as maiores variações quando se comparam os valores obtidos, a partir da média logarítmica, em 2017, com os dados de maio de 2020 foram: ponto B (diminuição de 13,8 dB), ponto D (diminuição de 9,2 dB) e ponto E (diminuição de 11,5 dB), que representam, respectivamente, a Rua Episcopal, a Rua XV de Novembro e a Avenida Doutor Carlos Botelho. A Rua Episcopal (ponto B) serve de binário junto com a Avenida São Carlos (ponto A), que é a principal via da cidade; a Rua XV de Novembro (ponto D) refere-se ao principal eixo de ligação no sentido oeste-leste e forma o binário com a Avenida Doutor Carlos Botelho (ponto E).

Ao analisar os valores coletados no período de novembro de 2020 com a medição anterior, verifica-se o aumento dos níveis de ruído em todos os pontos medidos, sendo os mais significativos o ponto D (Rua XV de Novembro) e o ponto E (Avenida Doutor Carlos Botelho). Para o mesmo período esses pontos apresentaram relevante aumento no tráfego de veículos. Essa variação nos dados coletados é justificada pela flexibilização das medidas restritivas, sendo que o índice de rigidez era de 57,87 (HALLE *et al.*, 2021) e a taxa de isolamento social de 40% (SISTEMA..., 2020) o menor índice registrado no ano de 2020. Sendo assim, a flexibilização permitiu maior deslocamento de pessoas. No entanto, ao analisar a composição veicular para o período, todos os pontos apresentaram maior tráfego de veículos.

Observando-se os dados de tráfego veicular (Tabela 2), para as medições de maio de 2020 e novembro de 2020, constata-se que todos os pontos apresentaram incremento no número de veículos. No entanto, ao analisar a evolução do quantitativo de motocicletas, verifica-se importante aumento de uma medição em relação a outra, principalmente, no ponto B (89%), ponto C (80%) e ponto D (80%). Novamente, as vias que apresentaram maior circulação de motocicletas foram a Rua XV de Novembro e Rua Episcopal (ponto D e B, respectivamente); o ponto C (Rua 9 de Julho) se destaca como rota alternativa para ingresso nas ruas onde se situam os pontos D e E.

A 3ª medição, realizada em maio de 2021, quando comparada com os dados obtidos em 2017 (PENTEADO, 2018), verifica-se que os níveis de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ) são superiores no ponto B (Rua Episcopal) em 6,2 dB e no ponto E (Avenida Doutor Carlos Botelho) em 4,1 dB. Esses valores evidenciam que o início da vacinação e a maior flexibilização das medidas restritivas (índice de rigidez de 60,65 e taxa de isolamento social de 43%) induziram a níveis de ruído maiores. No entanto, ao comparar a composição do tráfego de veículos verifica-se que no ponto A (Avenida São Carlos) permaneceu constante o número de veículos leves, mas o de motocicletas aumentou em 83%; no ponto B (Rua Episcopal) o número de veículos leves diminuiu em 25% e o de motocicletas aumentou em 238%; para o ponto C (Rua 9 de Julho) permaneceu constante o número de veículos leves e o de motocicletas aumentou em 225%; no ponto D (Rua XV de Novembro) o número de veículos leves diminuiu em 5% e o de motocicletas aumentou em 157%; e para o ponto E (Avenida Doutor Carlos Botelho) houve redução de 20% no número de veículos leves e aumento de 180% para o de motocicletas. Dessa forma, fica evidenciada a participação mais expressiva no número de motocicletas na geração do ruído urbano.

Na 4ª medição, ao se comparar os dados de  $L_{Aeq}$  obtidos em maio de 2021, verifica-se incremento nos níveis de pressão sonora no ponto A (2,2 dB), ponto B (0,3 dB), ponto C (3,4 dB), ponto D (4,4 dB) e ponto E (2,2 dB). Ao realizar a comparação dos  $L_{Aeq}$  obtidos em novembro de 2021 com os valores coletados em 2017 (PENTEADO, 2018), verifica-se a tendência de alguns pontos apresentarem ambiente mais ruidoso, como, por exemplo: ponto A (aumento de 2,7 dB), ponto B (6,2 dB), ponto D (1,3 dB), ponto E (4,1 dB). Esse padrão de ruído urbano evidenciado suscita preocupação, pois o índice de rigidez, nessa ocasião, era de 44,91

(HALLE *et al.*, 2021) e a taxa de isolamento social de 41% (SISTEMA..., 2020) mostrando que ainda estavam em vigor algumas medidas restritivas de deslocamento.

Para entender a evolução do ruído na região estudada em todos os períodos de medição, na Figura 6 são apresentados os valores mínimos, máximos e médios dos níveis de pressão sonora equivalente medidos nos cinco pontos amostrais, considerando as seis coletas em cada ponto.

Para a medição realizada em 2017 (PENTEADO, 2018) o valor mínimo de  $L_{Aeq}$  foi de 57,8 dB, o valor máximo de 74,7 dB, e a média de 67,5 dB. Na 1ª medição no período pandêmico, maio de 2020, o valor mínimo de  $L_{Aeq}$  foi de 52,1 dB, o valor máximo de 65,7 dB, e a média de 57,6 dB. Em novembro de 2020, 2ª medição no período pandêmico, o valor mínimo de  $L_{Aeq}$  foi de 56,4 dB, o valor máximo de 69,4 dB, e a média de 62,7 dB. Na 3ª medição no período pandêmico, maio de 2021 o valor mínimo de  $L_{Aeq}$  obtido foi de 58,7 dB, o valor máximo de 74,1 dB, e a média de 66,2 dB. Na última medição, em novembro de 2021, o valor mínimo de  $L_{Aeq}$  foi de 61,2 dB, o valor máximo de 76,2 dB, e a média de 68,6 dB. Portanto, nota-se aumento dos níveis de ruído ao decorrer das medições, conforme observado pelos valores medidos. Esse padrão observado do ruído está associado à caracterização do tráfego viário da região, sendo necessário o entendimento de como a composição do tráfego interfere na geração do ruído.

## Modelos de regressão

Modelos de regressão são utilizados como ferramentas de predição para a verificação de níveis de pressão sonora a partir das composições de tráfego. Tais modelos são idealizados visto que cada localidade apresenta características próprias ao tráfego veicular (RANPISE; TANDEL; SINGH, 2021). Para a cidade indiana de Suart, Khan *et al.* (2021) analisaram os vários modelos preditivos europeus como CNOSSOS, TRANEX, Nord2000, e verificaram variações na obtenção do ruído entre 3 e 5 dB quando analisado o parâmetro  $L_{Aeq}$ . Ascigil-Dincer e Demirkale (2021) desenvolveram modelos preditivos do ruído urbano para Istambul com a finalidade de entender como a propagação do ruído é interferida pelas características locais, como: tipo de pavimentação, largura das vias e a composição do tráfego veicular. Os autores verificaram que o uso desse modelo é mais dinâmico, acessível, aplicável com maior facilidade do que a realização de medições e confecção de mapas de ruído.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios ( $\bar{x}$ ), máximo e mínimo das variáveis obtidas em campo que foram utilizadas na geração dos modelos para a cidade em estudo.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados para os cinco modelos de regressão criados neste estudo. Todos os modelos foram considerados significativos pela ANOVA pois, P-valor<0,05.

Figura 6 - Análise dos dados coletados por período, nos cinco pontos amostrais

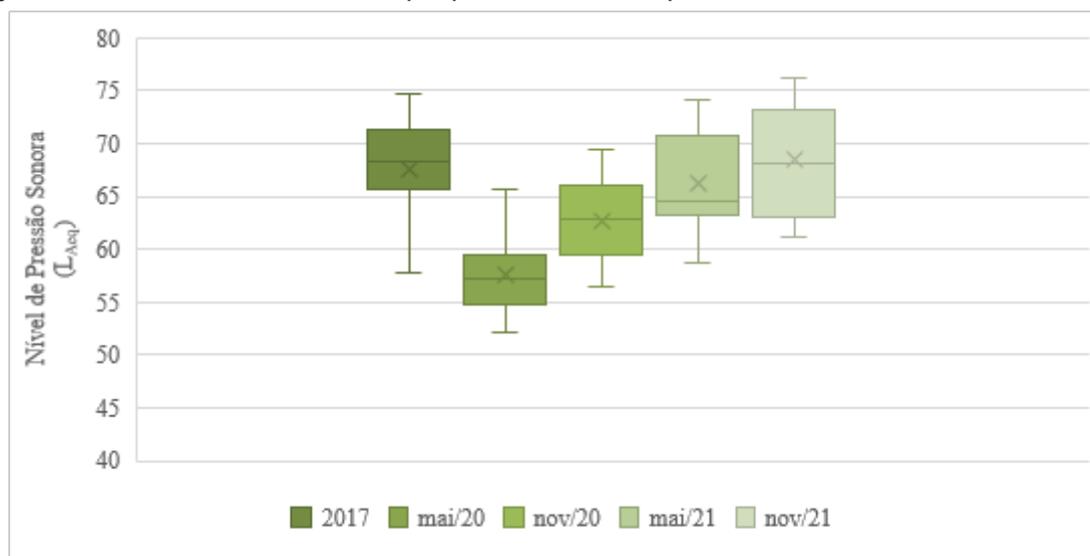


Tabela 4 - Estatísticas descritivas das variáveis obtidas durante as medições

Variáveis	$\bar{x}$	Máximo	Mínimo
$L_{Aeq}$ (dB)	64,5	76,2	52,1
$VLev^1$ (unidades)	58,9	93	17
$VPes^2$ (unidades)	3,5	7	0
$VMot^3$ (unidades)	17	47	9

Nota: <sup>1</sup>veículos leves; <sup>2</sup>veículos pesados; e <sup>3</sup>veículos motocicletas.

Tabela 5 - Resultados dos modelos de regressão com o coeficiente de correlação

Modelos	R <sup>2</sup> (%)	Equação
$L_{Aeq2017} = 49,2377 + 0,1523 \cdot VLev + 0,2378 \cdot VPes + 0,4401 \cdot VMot$	86,77	Eq. 2
$L_{AeqMAI2020} = 45,4873 + 0,0054 \cdot VLev + 0,0503 \cdot VPes + 0,7276 \cdot VMot$	93,76	Eq. 3
$L_{AeqNOV2020} = 46,0237 + 0,1688 \cdot VLev + 0,1644 \cdot VPes + 0,7433 \cdot VMot$	83,72	Eq. 4
$L_{AeqMAI2021} = 44,7550 + 0,2103 \cdot VLev + 0,0733 \cdot VPes + 1,2950 \cdot VMot$	84,21	Eq. 5
$L_{AeqNOV2021} = 49,6792 + 0,2444 \cdot VLev + 0,0750 \cdot VPes + 0,8513 \cdot VMot$	77,69	Eq. 6

A partir dos modelos de predição propostos, na Tabela 5 são apresentados os coeficientes de correlação (R<sup>2</sup>). Dessa forma, R<sup>2</sup> igual a 86,77% (Equação 2), R<sup>2</sup> igual a 93,76 (Equação 3), R<sup>2</sup> igual a 83,72 (Equação 4), R<sup>2</sup> igual a 84,21 (Equação 5) e R<sup>2</sup> igual a 77,69 (Equação 6), evidenciando a boa representação dos modelos gerados para a predição do nível de pressão sonora equivalente a partir da análise da composição do tráfego veicular.

O coeficiente  $\alpha_3$  (Equação 1) refere-se ao coeficiente que correlaciona a quantidade de motocicletas na geração do ruído. Ao analisar as variáveis que mais afetam os níveis de pressão sonora equivalente, verifica-se os seguintes valores de  $\alpha_3$ : 0,4401 (Equação 2), 0,7276 (Equação 3), 0,7433 (Equação 4), 1,2950 (Equação 5) e 0,8153 (Equação 6). Percebe-se que o valor de  $\alpha_3$  obtido na medição na Equação 6 é inferior ao obtido na Equação 5, tal situação é justificada pelo aumento do número de veículos leves e pesados entre as medições. Sendo assim, ao analisar o coeficiente  $\alpha_3$ , de todos os modelos propostos, verifica-se que as motocicletas são as variáveis que mais afetam nos valores de nível de pressão sonora da região durante as medições realizadas.

Ao analisar a variação dos coeficientes entre as Equações 2 e 3, referentes ao período de 2017 e a medição de maio de 2020, verifica-se que apesar dos níveis de ruído serem menores em maio de 2020, devido às restrições de deslocamento, os parâmetros  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  (Equação 1) propostos para o modelo de maio de 2020 apresentam valores consideravelmente menores para os coeficientes de veículos leves e veículos pesados. Tal situação está de acordo com o observado na composição de tráfego de veículos.

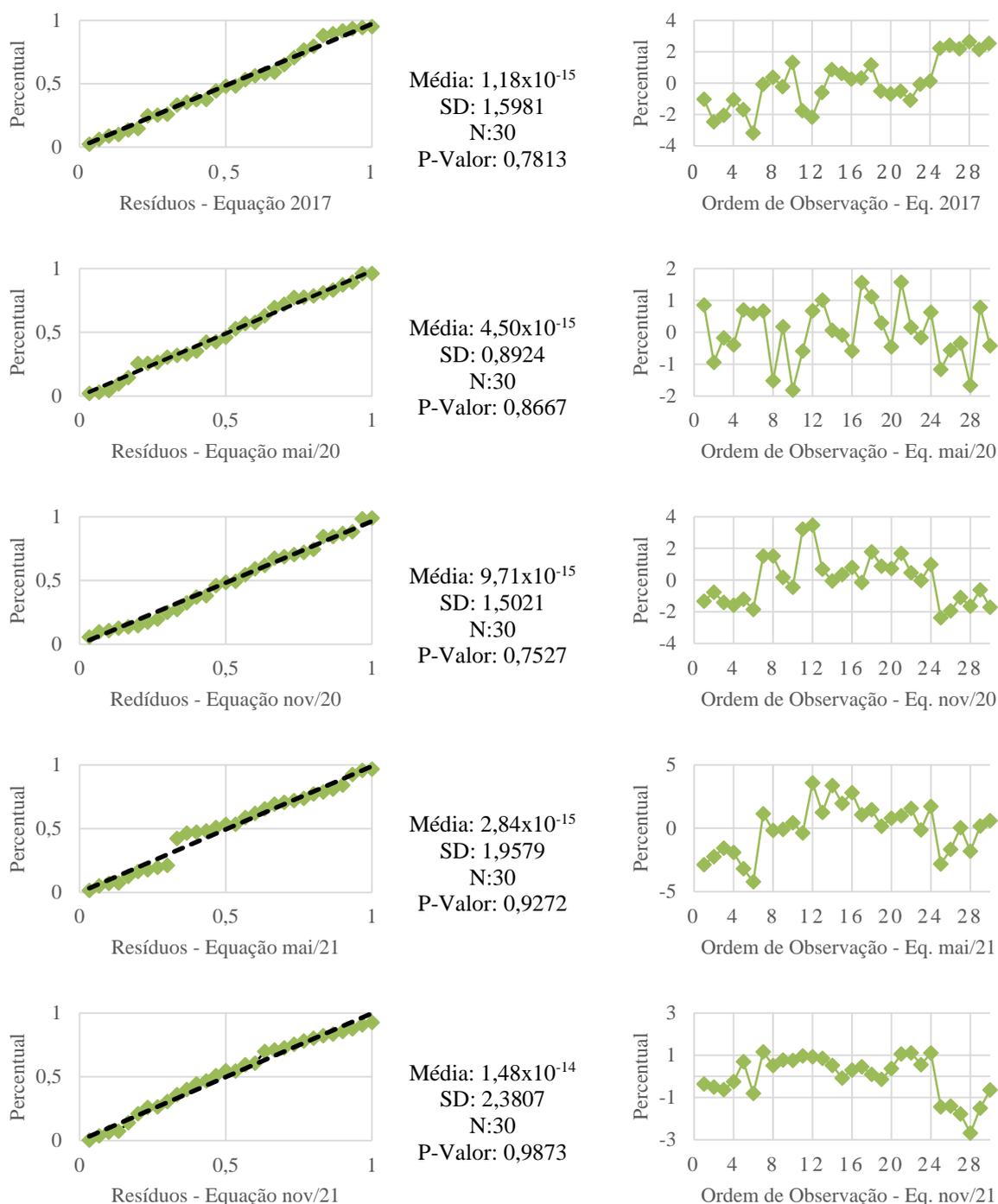
Na Figura 7 são apresentados os resultados da normalidade e da independência dos resíduos da ANOVA para os modelos com todos os ajustes. Com esses dados pode-se constatar a validade dos modelos de regressão, pois os P-valores dos testes de normalidade dos resíduos apresentaram valores superiores ao nível de 5% de significância e inexistência de padrão na distribuição dos resíduos.

Sendo assim, fica evidenciada a correlação do aumento do número de motocicletas no ruído urbano, mesmo que a medição, realizada em novembro de 2021, ainda apresentava medidas restritivas de circulação. O ruído urbano do município de São Carlos, sem medidas restritivas, pode ser maior do que o observado nas medições já realizadas, indicando a necessidade de efetivas políticas públicas e de fiscalização que limitem os níveis de ruído provocado pelas motocicletas.

## Conclusões

A pesquisa analisou a evolução do ruído urbano, compreendido no período de maio de 2020 até novembro de 2021, por meio de um estudo de caso realizado na região central do município de São Carlos, SP. Modelos de previsão dos níveis de pressão sonora equivalente foram elaborados, para cada período de medição, com a finalidade de verificar a variação de cada componente do tráfego veicular na geração do ruído medido.

Figura 7 - Resultados dos testes de validação ANOVA dos modelos de regressão



Com as restrições de circulação impostas pela pandemia do Covid-19, verificou-se que o ruído urbano na região estudada apresentou diminuição no nível de pressão sonora entre 2017 e maio de 2020. Sendo assim, em quatro dos cinco pontos os níveis obtidos, por meio de medição, apresentaram valores menores de 60 dB, condizentes com a NBR 10151 (ABNT, 2019) para a região de uso misto com predominância de atividades comerciais para o período diurno.

Com o início da flexibilização das medidas restritivas, ainda sem a vacinação da população para Covid-19, verificou-se aumento no tráfego de veículos na região estudada, sendo que três dos cinco pontos analisados já apresentavam valores maiores que os limites máximos normativos. Com a análise do fluxo de veículos verificou-se a crescente circulação de motocicletas em todas as regiões durante as quatro medições realizadas no período pandêmico.

Os modelos de previsão propostos por meio de regressão múltipla apresentaram bons valores de coeficiente de correlação ( $R^2$ ), permitindo evidenciar como o número de motocicletas interfere na geração do ruído urbano do município de São Carlos, SP. Devido aos valores de  $R^2$  obtidos, tais modelos podem ser replicados para a estimativa do nível de ruído urbano para prever o nível de ruído durante o período pandêmico, em municípios brasileiros de médio porte que apresentam composição do tráfego veicular semelhante à da cidade de São Carlos.

Evidenciou-se ainda que a última coleta de dados (realizada em novembro de 2021) apresentou valores de níveis de pressão sonora equivalente maiores do que os obtidos em 2017. Ao término das medidas restritivas, o ambiente urbano do município pode apresentar níveis de ruídos superiores aos verificados por Penteadó (2018), prejudicando assim a qualidade de vida dos cidadãos da região estudada.

Para trabalhos futuros, sugere-se a continuação do monitoramento sonoro da região para:

- (a) verificar a influência do tráfego de veículo no ruído urbano, visando a elaboração de medidas municipais com o objetivo de diminuir a emissão do ruído pelas motocicletas; e
- (b) elaborar plataforma com os dados coletados de tal forma que seja possível a realização de mapas de ruídos, em diversos períodos de medição, de maneira mais rápida para auxiliar os agentes do planejamento urbano na tomada de decisões relacionadas ao ruído urbano.

## Referências

- AGÊNCIA UNIVERSITÁRIA DE NOTÍCIAS. **São Paulo está mais silenciosa**. Disponível em: <http://aun.webhostusp.sti.usp.br/index.php/2021/01/13/sao-paulo-esta-mais-silenciosa/>. Acesso em: 2 abr. 2022.
- ALETTA, F. *et al.* Analysing urban traffic volumes and mapping noise emissions in Rome (Italy) in the context of containment measures for the COVID-19 disease. **Noise Mapping**, v. 7, n. 1, p. 114-122, 2020.
- ALSINA-PAGÈS, R. M.; BERGADÀ, P.; MARTÍNEZ-SUQUÍA, C. Changes in the soundscape of Girona during the COVID lockdown. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 149, p. 3416-3425 2021.
- ASCIGIL-DINCER, M.; DEMIRKALE, S. Y. Model development for traffic noise annoyance prediction. **Applied Acoustics**, v. 177, p. 107909, 2021.
- ASENSIO, C.; PAVÓN, I.; ARCAS, G. de. Changes in noise levels in the city of Madrid during COVID-19 lockdown in 2020. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 148, p. 1748-1755, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: acústica: medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas: aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2019.
- BASU, B. *et al.* Investigating changes in noise pollution due to the COVID-19 lockdown: the case of Dublin, Ireland. **Sustainable Cities and Society**, v. 65, p. 102597, 2021.
- BRESSANE, A. *et al.* Sistema de apoio à avaliação de impactos da poluição sonora sobre a saúde pública. **Caderno de Saúde Pública**, v. 32, n. 5, p. 1-11, 2016.
- BRITO, L. A. P. F. A utilização de mapas acústicos como ferramenta de identificação do excesso de ruído em áreas urbanas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1095-1107, 2017.
- GONG, X. *et al.* Association between Noise annoyance and mental health outcomes: a systematic review and meta-analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 5, p. 2696-2721, 2022.
- GOOGLE MAPS. [Área urbana de São Carlos]. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-22.0201566,-47.8960053,15.52z>. Acesso em: 1 jul. 2022.
- HALLE, T. *et al.* A global panel database of pandemic policies (Oxford COVID-19 Government Response Tracker). **Nature Human Behavior**, v. 5, p. 529-538, 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**: indicadores demográficos. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama>. Acesso em: 27 fev. 2022.
- KEPHALOPOULOS, S. *et al.* Advances in the development of common noise assessment methods in Europe: the CNOSSOS-EU framework for strategic environmental noise mapping. **Science of The Total Environment**, v. 482-483, p. 400-410, 2014.

- KHAN, J. *et al.* Comparison of road traffic noise prediction models: CNOSSOS-EU, Nord2000 and TRANEX. **Environmental Pollution**, v. 270, p. 116240, 2021.
- LIU, Q. *et al.* From SARS to COVID-19: What lessons have we learned? **Journal of Infection and Public Health**, v. 13, n. 11, p. 1611-1618, 2020.
- LOO, B. P. Y.; HUANG, Z. Spatio-temporal variations of traffic congestion under work from home (WFH) arrangements: lessons learned from COVID-19. **Cities**, v. 124, p. 103610, 2022.
- LOPEZ, G. A. P.; SOUZA, L. C. L. de. Comparison of mathematical methods and measurements of traffic noise indices in pedestrian routes. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 351-364, 2020.
- MAGIOLI, F. B.; TORRES, J. C. B. Influência das transformações urbanas no conforto acústico: estudo-piloto da cidade universitária da UFRJ. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 2, p. 7-22, 2018.
- MANDAL, I.; PAL, S. COVID-19 pandemic persuaded lockdown effects on environment over stone quarrying and crushing areas. **Science of The Total Environment**, v. 732, 2020.
- MORILLAS, J. M. B. *et al.* Noise pollution and urban planning. **Current Pollution Reports**, v. 4, n. 3, p. 208-219, 2018.
- MULEY, D. *et al.* Quantifying the impact of COVID-19 preventive measures on traffic in the State of Qatar. **Transport Policy**, v. 103, p. 45-59, 2021.
- NASCIMENTO, E. O. *et al.* Noise prediction based on acoustic maps and vehicle fleet composition. **Applied Acoustics**, v. 174, 2021.
- OPEN STREET MAP. [Área de estudo]. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org/#map=14/-22.0211/-47.8851>. Acesso em: 1 jul. 2022.
- PARLAMENTO EUROPEU. **Directiva 2002/49/EC**. 2002. Assessment and management of environmental noise. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32002L0049>. Acesso em: 7 abr. 2022.
- PASCALE, A. *et al.* Correlating the effect of Covid-19 lockdown with mobility impacts: a time series study using noise sensors data. **Transportation Research Procedia**, v. 62, p. 115-122, 2022.
- PENTEADO, L. D. **Previsão do tempo de reverberação urbano de uma cidade de médio porte**. São Carlos, 2018. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2018.
- PENTEADO, L. D.; SOUZA, L. C. L.; CHRISTOGORO, A. L. Reverberation time as an indicator for noise maps. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 12, n. 2, p. 257-265, 2018.
- RANPISE, R. B.; TANDEL, B. N.; SINGH, V. A. Development of traffic noise prediction model for major arterial roads of tier-II city of India (Surat) using artificial neural network. **Noise Mapping**, v. 8, p. 172-184, 2021.
- RAVINA, M. *et al.* Traffic-induced atmospheric pollution during the COVID-19 lockdown: Dispersion modeling based on traffic flow monitoring in Turin, Italy. **Journal of Cleaner Production**, v. 317, p. 128425, 2021.
- ROSWALL, N. *et al.* Long-term exposure to residential railway and road traffic noise and risk for diabetes in a Danish cohort. **Environmental Research**, v. 160, p. 292-297, 2018.
- RUMPLER, R.; VENKATARAMEN, S.; GÖRANSSON, P. An observation of the impact of CoViD-19 recommendation measures monitored through urban noise levels in central Stockholm, Sweden. **Sustainable Cities and Society**, v. 63, p. 102469, 2020.
- SAID, G. *et al.* Urban noise measurements in the City of Buenos Aires during the mandatory quarantine. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 148, p. 3149-3154, 2020.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO. **Banco de dados de veículos cadastrados no município de São Carlos**. São Carlos, 2020.
- SISTEMA DE MONITORAMENTO INTELIGENTE DO GOVERNO DE SÃO PAULO. Página Inicial. 2020. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/coronavirus/isolamento/>. Acesso em: 30 de mar. 2022.

SONAK, S. *et al.* Road traffic noise impacts sleep continuity in suburban residents: exposure-response quantification of noise-induced awakenings from vehicle pass-byes at night. **Science of The Total Environmental**, v. 817, p. 152594, 2022.

THACHER, J. D. *et al.* Exposure to transportation noise and risk for cardiovascular disease in a nationwide cohort study from Denmark. **Environmental Research**, v. 211, p. 113106, 2022.

WIKIMEDIA. **Mapa do estado de São Paulo**. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SaoPaulo\\_Municip\\_SaoCarlos.svg#/media/Ficheiro:SaoPaulo\\_Municip\\_SaoCarlos.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SaoPaulo_Municip_SaoCarlos.svg#/media/Ficheiro:SaoPaulo_Municip_SaoCarlos.svg). Acesso em: 25 maio 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental noise guidelines for the european region**: WHO and JRC. 2018. Disponível em: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf). Acesso em: 28 maio 2022.

YANG, W. *et al.* Evaluation of urban traffic noise pollution based on noise maps. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 87, p. 102516, 2020.

ZANNIN, P. H. T.; VIEIRA, T. J.; SILVEIRA, A. R. R. Evaluation of the acoustic comfort in university classrooms, based on the brazilian technical standard NBR 10152: use of noise mapping and acoustic barriers to counter noise on a university campus. **Current Urban Studies**, v. 9, p. 238-251, 2021.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

### Lucas Delloso Penteadado

Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Investigação, Metodologia, Validação, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de São Carlos | Rod. Washington Luís, km 235 | São Carlos -SP - Brasil | CEP 13565-905 | Tel.: (16) 3351-8262 | E-mail: penteadado.lucas@gmail.com

### André Luis Christoforo

Conceitualização, Análise de dados, Investigação, Metodologia, Supervisão, Validação, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de São Carlos | E-mail: christoforoal@yahoo.com.br

### Léa Cristina Lucas de Souza

Conceitualização, Investigação, Metodologia, Supervisão, Redação - revisão edição.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de São Carlos | E-mail: leacrist.ufscar@gmail.com

### **Ambiente Construído**

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

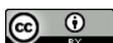
CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)

[www.scielo.br/ac](http://www.scielo.br/ac)

E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.