

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LEONARDO DE ATAIDE JEDNERALSKI

MAPEAMENTO, MODELAGEM E AVALIAÇÃO DO RUÍDO URBANO
NO ENTORNO DO CAMPUS DE CORNÉLIO PROCÓPIO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016

LEONARDO DE ATAIDE JEDNERALSKI

**MAPEAMENTO, MODELAGEM E AVALIAÇÃO DO RUÍDO URBANO
NO ENTORNO DO CAMPUS DE CORNÉLIO PROCÓPIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Silva Borges
Coorientador: Prof. Dr. Adailton Silva Borges

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento de Engenharia Mecânica
Curso de Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

MAPEAMENTO, MODELAGEM E AVALIAÇÃO DO RUÍDO URBANO NO ENTORNO DO CAMPUS DE CORNÉLIO PROCÓPIO

LEONARDO DE ATAIDE JEDNERALSKI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em de novembro de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Adriano Silva Borges
Prof. Orientador

Adailton Silva Borges
Prof. Coorientador

Conrado Di Raimo
Membro titular

José Aparecido Lopes Junior
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho a meus pais, que
são os grandes responsáveis pela minha
educação pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me iluminado, me dado saúde, força, inteligência e todas as graças que foram fundamentais não apenas durante o curso, mas em toda a minha vida.

Ao Prof. Dr. Adriano Silva Borges, pela confiança em mim dedicada, paciência, empenho em conseguir a licença do software, disponibilidade nos atendimentos fora de hora e conselhos que mudaram a minha visão da engenharia.

Ao Prof. Dr. Adailton Silva Borges por ter me apresentado ao software Cadna-A e ao mundo da acústica.

Ao Engenheiro Civil Ricardo por ter me disponibilizado os mapas planialtimétricos, fundamentais para a execução do trabalho.

Ao Gustavo e à Vitória pelo auxílio nas medições, sem o qual o trabalho não seria concluído.

Ao meu Pai Flávio, a minha Mãe Joana, por sempre se esforçarem para me proporcionar uma educação de qualidade, por me educarem da melhor forma, transmitindo valores nobres que nunca serão esquecidos.

À minha família, por todo amor e apoio a mim concedidos.

À minha irmã, Ana Paula pelo apoio e parceria.

À minha namorada Camila, pelo auxílio nas contagens, pelo abrigo, apoio e amor a mim dedicados.

Aos meus amigos de graduação, por estarem ao meu lado em todos os momentos e pela amizade inabalável construída.

Ao meu amigo de infância, Eduardo, pelos conselhos e conversas que adentraram muitas madrugadas.

À todos os professores e colaboradores que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“The task is not so much to see what no
one yet has seen, but to think what
nobody yet has thought about that which
everybody sees.”

(Arthur Schopenhauer)

“A tarefa não é tanto ver aquilo que
ninguém viu, mas pensar o que ninguém
ainda pensou sobre aquilo que todo
mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer).

RESUMO

ATAIDE JEDNERALSKI, Leonardo. **MAPEAMENTO, MODELAGEM E AVALIAÇÃO DO RUÍDO URBANO NO ENTORNO DO CAMPUS DE CORNÉLIO PROCÓPIO**. 2016. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

A poluição sonora é um grave problema que aflige os centros urbanos e contribui significativamente para a redução da qualidade de vida dos indivíduos a ela expostos. Ao contrário do que se espera, pequenas cidades, como é o caso de Cornélio Procópio, também podem sofrer deste mal. Este trabalho tem como objetivo quantificar, mapear e analisar a poluição sonora no interior do campus de Cornélio Procópio da UTFPR, e caso os níveis mostrem-se acima dos permitidos pela norma, propor soluções que reduzam essa poluição para os limites normalizados. Para tanto, foi aplicado o software Cadna-A para a elaboração de um modelo tridimensional da região, o qual foi alimentado com dados como tráfego de veículos por hora, velocidade dos veículos, tipo das vias, velocidade do trem, altura e geometria das edificações, características do relevo local, entre outros. A realização da simulação sobre o modelo gerou níveis de pressão sonora em dB (A) que foram validados por meio de medição em campo. A comparação mostrou que os valores simulados e os medidos foram bem correlacionados, assegurando a representatividade do modelo numérico. Com isto, foi possível empregar o modelo em extrapolações, como a proposição de soluções que diminuíssem os níveis de pressão sonora no interior do campus, visto que esses mostraram-se acima dos permitidos pela norma NBR10151:2000. Foram simuladas três melhorias e a que se mostrou mais efetiva, diminuindo os níveis de ruído abaixo do limite normalizado foi a terceira, que propõe a redução do limite de velocidade da via, o desvio do trânsito de veículos pesados (ônibus e caminhões), a remoção dos estacionamentos situados no interior do campus e a construção de um muro cercando a área do campus. Concluiu-se que a utilização de meios computacionais para análise de pressão sonora é muito eficiente e altamente recomendada a prefeituras e órgãos públicos que necessitem fazer estudos similares para um melhor planejamento urbano.

Palavras-chave: Ruído Urbano. Mapa Acústico. Poluição Sonora.

ABSTRACT

ATAIDE JEDNERALSKI, Leonardo. **MAPPING, MODELING AND ASSESSMENT OF THE URBAN NOISE IN SURROUNDINGS OF CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO.** 2016. 63 f. End-of-Course work (Bachelor of Engineering) - Federal Technology University of Parana. Cornélio Procópio, 2016.

Noise pollution is a serious problem that affects the urban centers and contributes significantly to the reduction of the quality of life of individuals exposed to it. Contrary to what is expected, small towns, as in the case of Cornélio Procópio, may also suffer from this problem. This study aims to quantify, map and analyze the noise inside the campus of Cornélio Procópio UTFPR, if the noise levels show up above the permitted, propose solutions to reduce this pollution to the standard limits. Therefore, the Cadna-A software was applied for building a three-dimensional model of the region, which was fed with data as hourly vehicle traffic, speed of vehicle, type of roads, train speed, height and geometry of buildings, local relief features, among others. The realization of the simulation generated results of sound pressure level in dB (A) that was validated by field measurement. The comparison showed that the simulated values and measured were well correlated, ensuring the good fidelity of the model. Factor that allowed the model to be used to extrapolate as to propose solutions for reducing the sound pressure levels inside the campus, as these proved to be above the permitted by the standard NBR10151: 2000. Where was simulated three improvements and the one was more effective, decreasing noise levels below the standard limit was the third, who proposed the reduction of the track speed limit, the diversion of traffic of heavy vehicles (buses and trucks), the removal of parking lots located inside the campus and the construction of a wall surrounding the campus area. It concluded that the use of computer media for sound pressure analysis is very effective and highly recommended to municipalities and public bodies who need to do similar studies for better urban planning.

Keywords: Urban noise. Map Acoustic. Noise pollution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Gráfico de ruído contínuo	19
Figura 2 - Gráfico de ruído intermitente/flutuante	20
Figura 3 - Gráfico de ruído de impacto/impulsivo	20
Figura 4 - Ouvido do homem	21
Figura 5 - Comportamento da propagação sonora em meio urbano	23
Figura 6 - Difração na copa das árvores	24
Figura 7 - Mapa de ruído bidimensional.....	27
Figura 8 - Mapa de ruído tridimensional.....	28
Figura 9 - Localização do Município de Cornélio Procópio no estado do Paraná.....	29
Figura 10 - Imagem de satélite da área de estudo	30
Figura 11 - Mapas planialtimétricos	32
Figura 12 - Modelagem do relevo no software Cadna-A	33
Figura 13 - Modelagem das vias	34
Figura 14 - Pontos de contagem.....	35
Figura 15 - Vias onde os valores foram estimados	36
Figura 16 - Campo de configuração da via	37
Figura 17 - Modelagem da linha férrea	38
Figura 18 - Modelagem das edificações.....	39
Figura 19 - Modelagem da vegetação.....	40
Figura 20 - Decibelímetro Instrutherm dec-460	41
Figura 21 - Pontos de medição	43
Figura 22 – Ponto de medição 1	44
Figura 23 - Ponto de medição 2.....	44
Figura 24 - Ponto de medição 3.....	45
Figura 25 - Ponto de medição 4.....	46
Figura 26 - Ponto de medição 5.....	46
Figura 27 - Ponto de medição 6.....	47
Figura 28 - Mapa acústico da área estudada	48
Figura 29 - Modelo com a melhoria 1 aplicada.....	53
Figura 30 - Mapa acústico resultante da aplicação da melhoria 1	53
Figura 31 - Comparação entre cenário atual e cenário com a melhoria proposta.....	54
Figura 32 - Mapa acústico resultante da aplicação da melhoria 2	55
Figura 33 - Comparação entre cenário atual e cenário com a melhoria proposta.....	55
Figura 34 - Modelo com a melhoria 3 aplicada.....	56
Figura 35 - Mapa acústico resultante da aplicação da melhoria 2.....	57

Figura 36 - Comparação entre cenário atual e cenário com a melhoria proposta..... 57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de critério para avaliação NCA para ambientes externos, em dB (A)	26
Tabela 2 - Dados de tráfego obtido por contagem	36
Tabela 3 - Comparação dos valores medidos com o limite recomendado pela norma (50dB (A))	49
Tabela 4 - Comparação dos níveis medidos com os níveis simulados.....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 SOM.....	17
3.2 RUÍDO	19
3.3 ORELHA HUMANA	21
3.4 EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE DO HOMEM	22
3.5 RUÍDO EM CENTROS URBANOS.....	23
3.6 VARIAÇÕES NA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO.....	24
3.6 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA: NBR 10151:2000.....	25
3.7 O SOFTWARE CADNA-A	26
4 METODOLOGIA	29
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
4.2 ELABORAÇÃO DO MODELO 3D.....	31
4.2.1 Modelagem do relevo local	31
4.2.2 Modelagem e caracterização das vias	33
4.2.3 Modelagem da linha férrea	37
4.2.4 Modelagem das edificações.....	38
4.2.5 Modelagem da vegetação.....	39
4.3 MEDIÇÕES	40
4.3.1 Equipamento utilizado.....	41
4.3.2 Condições de medição.....	42
4.3.3 Pontos de medição	42
4.3.4 Tratamento dos dados medidos.....	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO	48
5.3 VALIDAÇÃO DO MODELO	50
5.4 PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES.....	52
5.4.1 Proposta 1	52
5.4.2 Solução 2.....	54
5.4.3 Solução 3.....	56
5.4.4 Outras possíveis soluções	58
6 CONCLUSÃO	59

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:.....	60
--	----

1 INTRODUÇÃO

A crescente intervenção humana no meio ambiente tem desencadeado um aumento significativo da poluição ambiental, proveniente da liberação de matéria ou energia em quantidade ou intensidades que o torne impróprio às formas de vida presentes. Desta forma, pode-se considerar como poluição sonora a emissão de diversos ruídos em determinado ambiente, que sejam considerados incômodos ou prejudiciais aos seres que ali habitam ou se encontram.

Desde a antiguidade, existe a preocupação com os danos causados pelo ruído à saúde do ser humano, na Roma Antiga, por exemplo, haviam restrições dos níveis de ruídos emitidos pelas rodas das carruagens que circulavam pelas vias calçadas por pedras (OMS, 1999). Esse cuidado, intensificou-se com a Revolução Industrial, que ocorreu no século XIX, quando o crescimento do número de indústrias e linhas férreas próximos às residências causavam grandes incômodos à população.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 1999), os níveis sonoros não devem ultrapassar os 55db (A). A exposição contínua e prolongada a níveis iguais ou superiores a 80db (A) pode causar efeitos nocivos à saúde do ser humano. Esses efeitos podem ser físicos, tais como: distúrbios gástricos, distúrbios do sono, dores de cabeça, tonturas, perda parcial ou total da capacidade auditiva e distúrbios hormonais. Além disso, podem gerar efeitos psicológicos, tais como: perda de reflexos, problemas de concentração, irritação crônica, insônias, cansaço, nervosismo, estresse e a diminuição da capacidade de aprendizagem em crianças, (SANTOS et. Al.,1994; WHO, 1999; LACERDA et.al.,2005; BISTAFA, 2011).

Para lidar com este problema, há diversas alternativas que podem ser empregadas para adequar o interior de edificações que demandam maiores níveis de conforto acústico. Entretanto, o alto custo dessas soluções mais eficientes as tornam pouco atrativas em diversos casos, fazendo com que as construtoras empreguem medidas menos onerosas, podendo causar não conformidades com os requisitos especificados pelas normas técnicas e regulamentadoras vigentes.

Neste contexto, é evidente a importância do controle dos níveis de ruído nas vizinhanças das edificações, pois se estes forem atenuados, a qualidade de vida dos indivíduos que se encontram no interior dos mesmos melhorará significativamente (NIEMEYER et al., 2005).

Para o controle de ruído nas vizinhanças, devem ser levados em conta inúmeros fatores que podem agir como intensificadores ou atenuadores dos níveis de ruídos. Esses fatores, vão desde a concepção do projeto, como por exemplo, geometria das edificações, afastamento do edifício em relação as vias e materiais usados em sua construção, até climáticos, como temperatura do ambiente, velocidade e direção dos ventos e níveis de poluição do ar.

Apesar de haver uma infinidade de fontes de ruído em ambientes urbanos, pode-se observar que uma das principais, é o tráfego de veículos. A sua intensidade varia de maneira proporcional ao número de veículos, à velocidade que eles desenvolvem e de maneira inversamente proporcional às condições das vias por eles percorridas.

Todavia, em cidades de pequeno porte, tais como Cornélio Procópio, o tráfego de veículos automotores pode ser considerado como relativamente baixo, conseqüentemente esta fonte passa a desenvolver um papel secundário. Em contrapartida, a passagem do trem pela linha férrea pode assumir um posto de principal fonte emissora de ruído para as áreas localizadas nas vizinhanças do seu percurso. De forma análoga ao caso anterior, os níveis de ruído podem variar de acordo com a velocidade do trem, da qualidade dos trilhos e do número de vagões da composição, impactando diretamente na qualidade de vida da população que habita e trabalha nestas regiões mais expostas.

A fim de quantificar e caracterizar a exposição do homem aos ruídos, foram criadas normas para medir e modelar a propagação sonora em ambientes urbanos, além de estabelecer critérios e equipamentos necessários para a avaliação da quantidade de ruídos nos locais estudados.

As normas brasileiras, como a NBR 10151:2000 não definem modelos de conversão direta, do fluxo viário em pressão sonora, porem estabelecem limites toleráveis para cada ambiente, seja urbano ou rural, em função dos tipos de atividades econômicas ali executados (ABNT, 2000).

Os chamados mapas acústicos, podem ser criados com base nas legislações e normas sobre ruídos e métodos de propagação de som, e auxiliam no estudo do comportamento acústico das cidades e na definição de soluções de problemas onde os níveis apresentam-se superiores aos normalizados.

2 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo geral a análise do impacto da poluição sonora, causada pela passagem do trem pela linha férrea e dos veículos pelas vias no campus da UTFPR e em suas vizinhanças. Desta forma, caso sejam identificadas não conformidades com os limites estabelecidos pelas normas técnicas e regulamentadoras vigentes, serão propostas alternativas para lidar com estes problemas.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento e estudo das normas técnicas e regulamentadoras que definem os procedimentos e critérios relacionados à medição e análise dos níveis de ruído em áreas urbanas;
- Modelagem do relevo e da topografia urbana, por meio do software Cadna-A, com base nas plantas da Universidade e da Prefeitura de Cornélio Procópio;
- Alimentação do modelo com dados obtidos por meio de medições em campo.
- Análise dos resultados obtidos e validação do modelo com base nas medições realizadas em campo.
- Comparação entre os resultados obtidos e as recomendações das normas técnicas e regulamentadoras. Caso sejam identificadas não conformidades, propor soluções para os problemas com base em simulações realizadas com o modelo computacional.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão apresentadas todas as fundamentações teóricas que embasaram o projeto, englobando os conceitos básicos de som e ruído, assim como se dá a sua propagação, sua influência no organismo humano, sua ocorrência em centros urbanos, a legislação brasileira que regula os limites permitidos de poluição sonora e finalmente, detalhes sobre o software utilizado para a criação do presente trabalho.

3.1 SOM

O primeiro passo para o estudo da propagação de ruídos no meio urbano é o conhecimento dos conceitos básicos de som, decibel, nível de pressão sonora, nível de pressão sonora equivalente, que serão definidos a seguir.

Segundo Déuox (1996) som é a perturbação mecânica do meio ambiente que ocorre devido às vibrações de um corpo que o emite. Como consequências dessas vibrações, ocorrem variações de pressão no ar, resultando em um movimento vibratório especial da matéria transmitido através de um meio elástico, capaz de excitar o aparelho auditivo do homem ou algum instrumento de medição ou captação, tal qual um microfone.

Para se propagar, o som necessita de um meio elástico, como por exemplo ar, água, aço, concreto, ou qualquer outro meio. A partir da fonte, esse meio sofre repetidas compressões e expansões que se propagam sob a forma de ondas. Logo, caso não exista matéria, não há meio pelo qual o som possa se propagar, explicando-se assim, a ausência de som no vácuo.

Para a medição de pressão sonora utiliza-se o decibel, que é composto pela razão entre dois quantitativos. Trata-se de uma medida adimensional e similar a porcentagem, correspondente a um submúltiplo do Bel. A definição do decibel é oriunda do uso logaritmo (FERNANDES, 2002a).

Em meados do século XIX, dois médicos neurologistas, Webber e Fechner, estudaram isoladamente o som e chegaram a um mesmo denominador comum, que a relação entre estímulo e sensação é logarítmica, ou seja, a sensação de som cresce com o logaritmo de seu estímulo.

O ouvido humano percebe variações de pressão em uma faixa muito ampla, que parte do limiar da audição, que corresponde a pressão de aproximadamente $0,00002 \text{ N/m}^2$, e vai até o limiar da dor, com pressão de 200 N/m^2 (SANTOS, 1996). Segundo Saliba (2004), as frequências audíveis pelo aparelho humano encontram-se entre 16 e 20 000 Hz.

Através de diversas considerações sobre a propagação das ondas sonoras e dos campos acústicos, pode-se relacionar o nível de potência sonora com a pressão sonora através da seguinte equação:

$$NPS = 20 \log \frac{p_1}{p_2} \quad (1)$$

Na qual NPS é o nível de pressão sonora, P_1 é o valor da pressão sonora a ser comparada e P_0 é o valor de referência da pressão sonora, nesse caso, considera-se o limiar inferior da audição humana ($0,00002 \text{ N/m}^2$). O valor do NPS é dado em Decibéis.

O nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) é obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora, referente ao intervalo de medição em decibéis. É obtido pela equação a seguir:

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left[\frac{p(t)}{p_0} \right]^2 dt \right\} \quad (2)$$

Onde, $T(t_2 - t_1)$ é o tempo total de medição; $p(x)$ é a pressão sonora instantânea e $p_0(t)$ é a pressão de referência.

A equação mostra que o nível de pressão sonora equivalente representa um valor constante, que num dado período de tempo, resultaria na mesma energia acústica produzida pelos valores instantâneos variáveis da pressão sonora. Portanto, um nível equivalente tem o mesmo potencial de lesão auditiva que um nível variável considerado nesse mesmo intervalo de tempo. Os critérios para a lesão, limitam essa equivalência até 115 dB (A) de nível máximo, a partir do qual poderá ocorrer lesão, mesmo com curta duração de exposição (CALIXTO, 2013).

O Leq é usado pela Agencia de Proteção Ambiental (AGENCY, 1974) como métrica para avaliação de fontes de ruído ambiental e pela ISO (1996/2 1987) para medições de ruído urbano. O Leq pode ser aplicado para quantificar sons contínuos, como ruído de tráfego de veículos, servindo também para comparação de duas situações semelhantes de ruídos (OMS, 1999).

3.2 RUÍDO

Segundo Bistafa (2011) o ruído é considerado um som desagradável, indesejável e que traz a sensação de desconforto ao ouvinte. Pode também ser definido como um som sem harmonia, que gera incomodo para o ser humano. De modo geral, considera-se como ruído, um som que interfere negativamente na compreensão da informação ou que não traz informação relevante.

Os ruídos podem ser classificados, segundo Fernandes (2002b) em ruído contínuo, intermitente ou de impacto:

Ruído contínuo é aquele no qual a oscilação de intensidade sonora é muito baixa em relação ao tempo observado. Para essa caracterização considera-se uma oscilação inferior a 3 dB em um intervalo de 15 minutos. Podem ser citados como fontes desse tipo de ruído motores elétricos, compressores, chuva e etc. O gráfico desse tipo de ruído é representado na figura 1.

Figura 1 - Gráfico de ruído contínuo.



Fonte: (FERNANDES, apud FILGUEIRA, 2005).

Ruído intermitente ou flutuante é aquele no qual a pressão sonora varia em um período de tempo inferior a 15 minutos e superior a 0,2 segundos. São fontes

desse tipo de ruído tráfego de veículos, soldagem, trabalhos manuais e etc. O gráfico desse tipo de ruído é representado na figura 2.

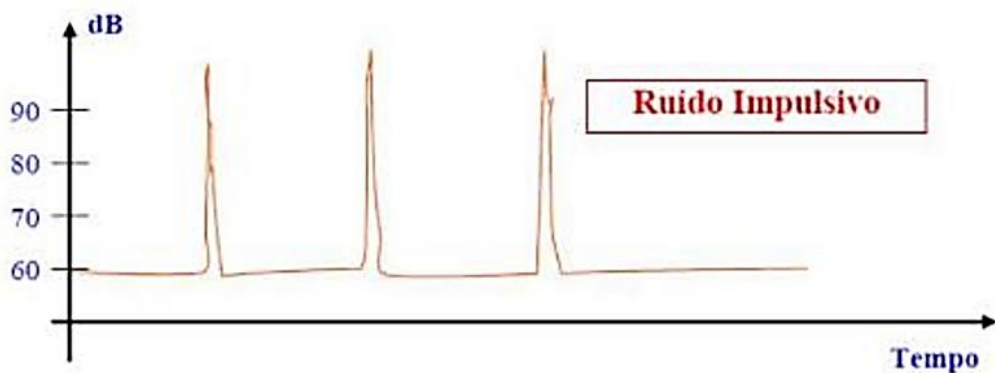
Figura 2 - Gráfico de ruído intermitente/flutuante.



Fonte: (FERNANDES, apud FILGUEIRA, 2005).

Ruído de impacto ou impulsivo é aquele que apresenta duração menor do que 1 segundo e possui nível de pressão sonora muito alto, chegando a níveis de 110 dB. Um exemplo de agente gerador de ruído de impacto é o som emitido por um martelo ao ser impactado contra um prego. O gráfico desse tipo de ruído é representado na figura 3.

Figura 3 - Gráfico de ruído de impacto/impulsivo.



Fonte: (FERNANDES, apud FILGUEIRA, 2005).

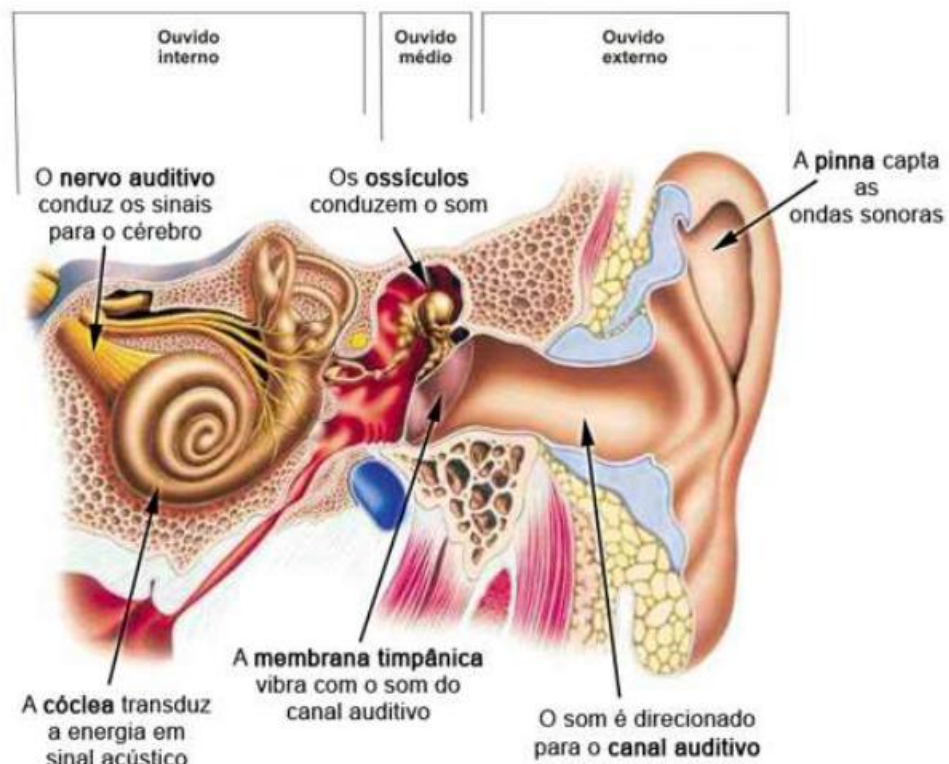
3.3 ORELHA HUMANA

Conhecer a anatomia e fisiologia do órgão da audição tem grande importância, pois desta forma podem-se compreender os efeitos nocivos de altos níveis de pressão sonora e preveni-los (SANTOS, 1996). O sistema auditivo humano possui muitas estruturas, as quais realizam a conversão das ondas sonoras em vibração e posteriormente em pulsos nervosos.

A sensação do som ocorre quando as ondas de som são captadas pela orelha e entram pelo ouvido, atravessando o órgão auditivo externo, onde a energia acústica é convertida em impulsos nervosos, os quais chegam ao cérebro e são percebidas como diferentes sons (GRANDJEAN, 1998).

O ouvido humano, conforme expresso na figura 4, é dividido em ouvido externo, médio e interno.

Figura 4 - Ouvido do homem.



Fonte: www.aparelhosauditivosecia.com.br (2014)

O ouvido externo é o receptor primário do som, engloba a orelha, que capta o som e o canal auditivo que direciona o som até o ouvido médio. Este, por sua vez, é responsável pela pressão interna do ouvido, engloba o tímpano e três ossículos que vibram ampliando o som que chega ao tímpano em até 22 vezes. A vibração do tímpano e dos ossículos é sentida pelos pequenos pelos da cóclea, já no ouvido interno, a qual por meio de células sensoriais o transforma em impulsos nervosos, transmitidos ao cérebro pelo nervo auditivo. (MOORE, 2001; SANTOS, 1996; SALIBA, 2004).

3.4 EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE DO HOMEM

Vários processos fisiológicos são alterados pela exposição ao ruído, tanto pelas reações de defesa que ele desperta no organismo, quanto pela vibração oriunda dele, sejam audíveis ou não. As ondas infrassônicas por exemplo, impactam de diversas maneiras no organismo, causando distúrbios pulmonares e do sistema nervoso. Apesar de alguns desses efeitos estarem bem documentados, outros ainda não são totalmente compreendidos.

Os efeitos do ruído no organismo podem ser diretos, quando a orelha é o principal meio de captação da onda sonora, ou indiretos, quando a energia sonora se desloca por meio de vibrações pelas partes do corpo. A quantidade e intensidade dos efeitos do ruído sobre a saúde do indivíduo depende de fatores como, sensibilidade do indivíduo, personalidade, profissão, saúde, idade, tempo de exposição, frequência, intensidade, entre outros (OSADA, 1988).

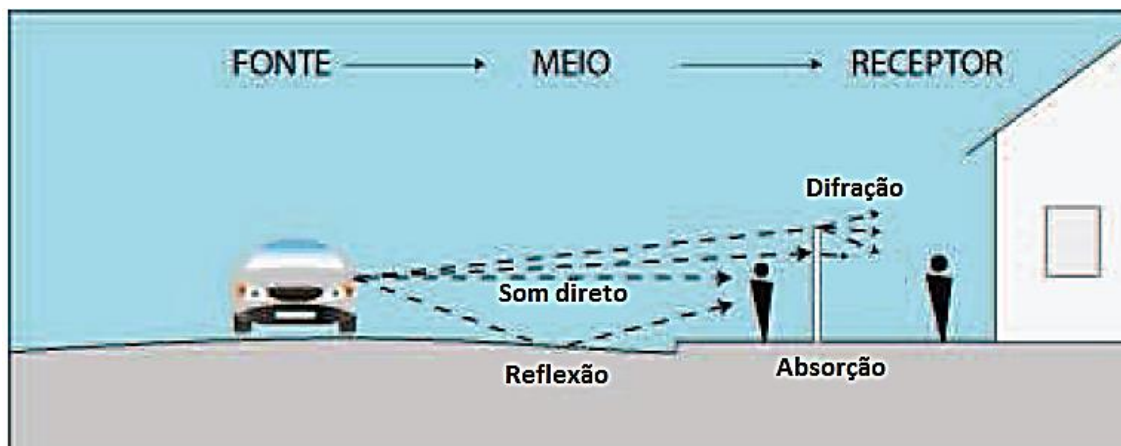
A exposição aguda ao ruído pode causar alterações na pressão arterial, na frequência cardíaca, estresse, distúrbios do sono, perda total ou parcial da capacidade auditiva, dores de cabeça, irritação, distúrbios hormonais, diminuição da capacidade de concentração, entre outros. A perda de audição, quando provocada por ruídos de baixa frequência (4 a 6kHz), pode ser temporária, acompanhada da sensação de percepção do ruído após o afastamento do campo ruidoso. Entretanto, pode ser tornar permanente se a exposição ao ruído for repetida antes da completa recuperação (GERGES, 1992).

3.5 RUÍDO EM CENTROS URBANOS

Em centros urbanos o ruído pode ser emitido por fontes variadas e simultâneas, causando a degradação da qualidade de vida nesse tipo de ambiente. Nessa situação, atribui-se a denominação ruído ambiental aquele que resulta da superposição de ruídos de origens diversas, como tráfego de veículos, indústrias entre outros.

Para o estudo do comportamento do som em meio urbano, considera-se a fonte do ruído, a trajetória que essa percorrerá e o receptor que captará as ondas. Em um ambiente urbano, podem ocorrer diversas influências no percurso entre a fonte emissora e o receptor do ruído. A forma como o ruído irá se propagar é afetada pela distância percorrida, absorção atmosférica, reflexões, efeito da topografia do solo, da vegetação, barreiras, espelhamento e até mesmo variações nas condições atmosféricas como umidade relativa do ar, temperatura e ventos (GERGES, 1992).

Figura 5 - Comportamento da propagação sonora em meio urbano



Fonte: Giunta (2013)

Apesar de a vegetação não ser um material isolante, nem mesmo barreira acústica, a presença de vegetação nas ruas, através da arborização ou como gramado em calçadas, aumenta a difusão e absorção do som que incide sobre as fachadas de edifícios e residências.

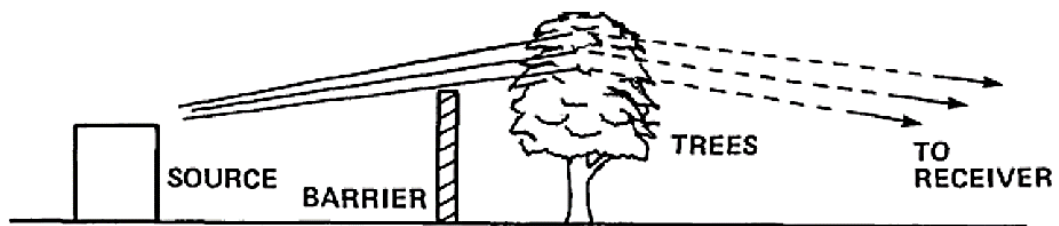
Giunta (2013) concluiu que o desenho urbano possui papel fundamental na propagação sonora em cidades. Os índices de aproveitamento, perfil das vias, recuos,

materiais utilizados nas vias edifícios e inúmeros outros fatores, podem exercer grande influência na propagação sonora. Fato esse que exalta a importância do fator planejamento urbano na questão da poluição sonora, podendo, na maioria das vezes evitar ou minimizar o ruído a partir de decisões ainda na fase de projeto.

3.6 VARIAÇÕES NA PROPAGAÇÃO DO RUÍDO

Uma onda sonora, ao encontrar um obstáculo, tem parte de sua energia refletida, absorvida e transmitida (Calixto, 2002). Além desses fenômenos, em seu caminho até o receptor, onde pode sofrer também difração e interferência.

Figura 6 - Difração na copa das árvores



Fonte: Fernandes (2013)

Um dos inúmeros processos físicos que influem na forma como a onda se propaga, é a difração, na qual mesmo na presença de um obstáculo, o qual impede a sua propagação direta, a onda chega até o receptor (figura 6). Durante a difração pode ou não ocorrer a mudança de direção da onda sonora.

A reflexão do som ocorre quando uma onda sonora atinge uma parede e retorna para a sua fonte ou outra direção aleatória. Nesse fenômeno ocorre a inversão de fase, entretanto a velocidade de propagação, a frequência e o comprimento de onda são mantidos. Em geral, quanto mais rígido, denso e de superfície lisa for o obstáculo, mais refletor ele será (CALIXTO, 2013).

Em relação à transmissão, o som pode atravessar uma parede, mesmo que a mesma não apresente aberturas. Essa transmissão se dá pelo fato de a parede vibrar quando atingida por uma onda, passando a funcionar como uma nova fonte.

A interferência sonora, é o resultado da superposição de duas ou mais ondas sonoras. A interferência pode ser construtiva, quando ocorre a incidência simultânea em um mesmo ponto de duas frentes de onda de mesma frequência e mesma fase, fazendo com que elas se somem, ou pode ser destrutiva, quando ocorre a superposição de ondas com fase opostas, fazendo com que suas amplitudes se anulem.

Já a absorção acústica se dá quando o som tem sua reverberação anulada ao se encontrar com a superfície de um material absorvente. Materiais considerados absorventes sonoros geralmente mostram-se leves e porosos.

3.6 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA: NBR 10151:2000

Nas últimas décadas, as legislações brasileira, nos níveis federal, estadual e municipal, vem enfatizando a necessidade da conservação do meio ambiente, assim como da melhoria da qualidade de vida da população, estabelecendo normas, leis e regulamentações, que buscam controlar as intervenções humanas (NAGEM, 2004). Especificamente na área da acústica, existe a NBR10.151:2000, norma que substitui a NBR10.151:1987, descrita como: “ Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Essa norma define as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidade, independente da existência de reclamações. A norma, disponibiliza ainda, métodos para a medição de ruído, correções nos níveis medidos, que são aplicadas caso o ruído apresente características especiais, e critérios para a comparação dos níveis corrigidos (GIUNTA, 2013).

Afim de permitir a determinação do L_{eq} (nível de pressão sonora equivalente), mesmo com as medições sendo feitas por um aparelho que não dispõe desta função, a norma em questão disponibiliza uma equação que possibilita o cálculo do L_{eq} a partir de uma série de medições instantâneas:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (3)$$

Onde,

L_i é o nível de pressão sonora, em dB (A), lido em resposta rápida (fast) a cada 5s, durante o tempo de medição do ruído;

n é o número de leituras.

Esta norma, estabelece também os limites através do Nível de Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos, de acordo com o tipo de ocupação de cada área e o período (diurno ou noturno). Os limites de horário que caracterizam o período como diurno ou noturno, podem ser definidos pelas autoridades, de acordo com os hábitos da população.

A tabela 1 a seguir, mostra os limites de pressão sonora em dB (A) recomendados pela norma NBR 10.151:2000.

Tabela 1 - Nível de critério para avaliação NCA para ambientes externos, em dB (A)

<i>Tipo de áreas</i>	<i>Diurno</i>	<i>Noturno</i>
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10151:2000.

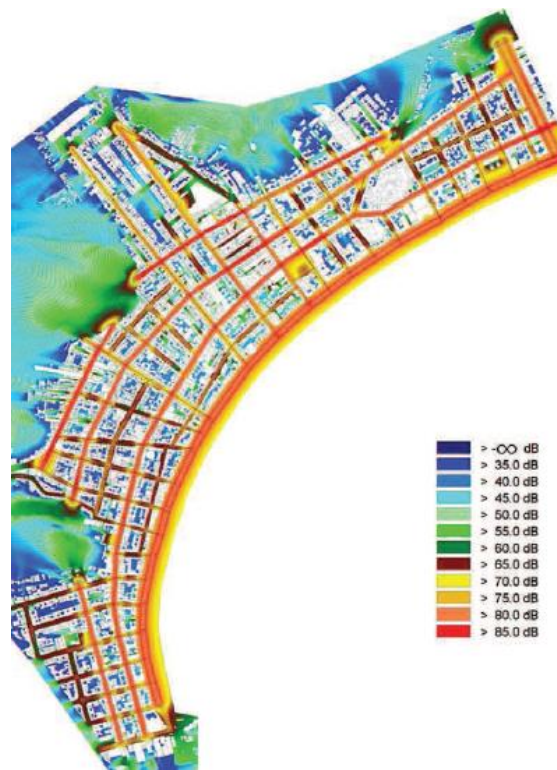
3.7 O SOFTWARE CADNA-A

O software Cadna-A, *Computer Aided Noise Abatement*, foi desenvolvido pela empresa Alemã Datakustik GMBH, e é aplicado para o cálculo e avaliação do ruído e da poluição do ar. Trabalha em várias escalas, como a avaliação de ruído local, como é o caso do presente trabalho, bem como análises detalhadas de mapeamento de ruído em grandes cidades. Desta forma, são possíveis o cálculo e a previsão da

exposição do ruído ambiental, advindos de comércios, indústrias, instalações desportivas ou dos sistemas de tráfego, como rodovias, ferrovias, aeroportos, ou qualquer outra fonte de ruído (METZEN, 2009). Este software permite, para a realização da simulação, a edição dos fatores que influenciam a emissão como as fontes sonoras, e a propagação, como os efeitos de reflexão, absorção, e barreiras sonoras.

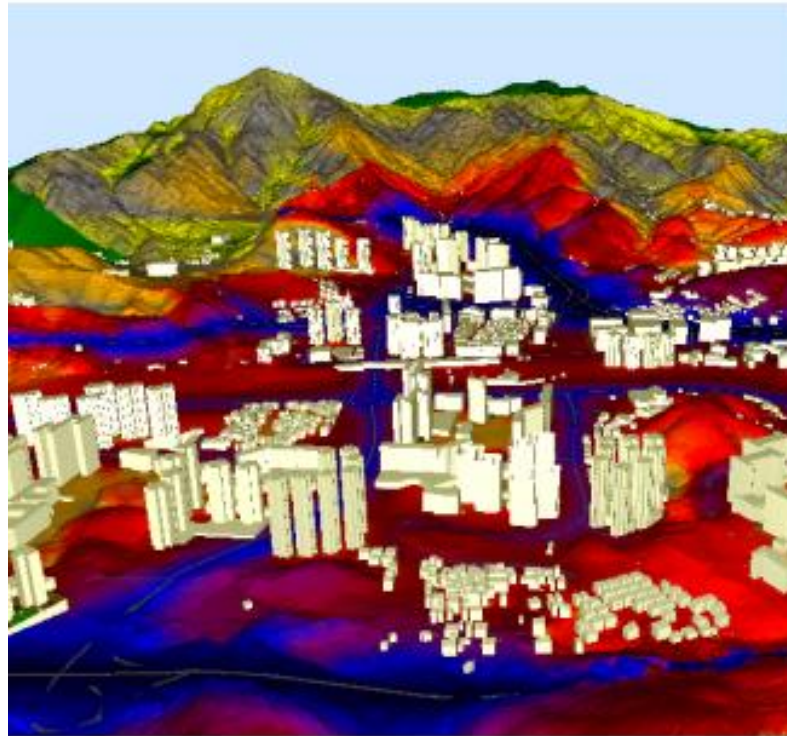
Os resultados são apresentados por meio de mapas de ruído, que podem ser visualizados em mapas bidimensionais (figura 7) e tridimensionais (figura 8).

Figura 7 - Mapa de ruído bidimensional



Fonte: Datakustik

Figura 8 - Mapa de ruído tridimensional



Fonte: Datakustik

Para as simulações, podem ser inseridos os valores de tráfego de veicular com a contagem exata de veículos, considerando a porcentagem de veículos leves e pesados, a velocidade da via, as características do pavimento, entre outros. Existe a possibilidade também de inserir valores medidos em campo, na unidade decibel.

O software considera o trajeto de propagação do som, incluindo a atenuação devido ao efeito da distância, a absorção pela atmosfera, o efeito do solo, a difração em torno dos obstáculos e as reflexões sonoras (CARVALHO, S.D.).

4 METODOLOGIA

Nesta seção serão detalhados todos os procedimentos e fundamentos utilizados para a caracterização da área de estudo, para a construção do modelo e para a realização das medições realizados no presente trabalho.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade do estudo de caso é o município de Cornélio Procópio, localizado na região norte do estado do Paraná, como demonstra a figura 9. O clima é caracterizado como subtropical úmido mesotérmico com chuvas o ano todo, e leve diminuição dos volumes no inverno. De acordo com a Köppen e Geiger (2016) a temperatura média em Cornélio Procópio é 20,1°C e a pluviosidade média anual é 1306mm.

Figura 9 - Localização do Município de Cornélio Procópio no estado do Paraná



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Cornélio Procópio

Segundo a Prefeitura Municipal de Cornélio Procópio o município possui uma área de 637 km² e uma altitude média de 658m. O IBGE estima que a população de Cornélio Procópio era de 48 551 habitantes em 2015.

A área de estudo selecionada é o Campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e algumas habitações e estabelecimentos comerciais localizados em seu entorno conforme é destacado na figura 10:

Figura 10 - Imagem de satélite da área de estudo



Fonte: Google Earth

Segundo o site da instituição, o Campus conta com cerca de 2000 alunos, com 217 professores e 93 técnico-administrativos. Ocupa uma área de cerca de 65,1 mil metros quadrados, possuindo construções que totalizam aproximadamente 22.5 mil metros quadrados, além de obras de expansão por meio da construção de dois novos blocos, abrangendo ambientes administrativos, de ensino, pesquisa e área esportiva.

A área foi escolhida para a realização do estudo devido à sua ocupação residencial e educacional, que de maneira geral, mostram-se sensíveis aos elevados níveis de ruídos provindos do intenso tráfego de veículos pela Avenida Santos Dumont, que tangencia uma porção significativa da área de estudo e também da

passagem do trem pela linha férrea, o que o torna, uma importante fonte de ruídos para a região.

Outro agente motivador para a realização do estudo, foi o fato de nenhuma análise similar, ter sido realizada no Campus até a presente data. Permitindo assim, proporcionar à comunidade, alunos, docentes e servidores, uma quantificação da poluição sonora à que são expostos diariamente e os efeitos negativos que esta pode trazer à sua saúde.

4.2 ELABORAÇÃO DO MODELO 3D

A elaboração do modelo acústico tridimensional, iniciou com a reunião de informações a respeito do relevo, construções, tráfego, tipo e qualidade das vias, velocidade permitidas, entre outros.

4.2.1 Modelagem do relevo local

Inicialmente, foi feita a caracterização do relevo local, que devido à sua característica bastante acidentado, apresenta grande influência nos resultados da simulação. Para tanto, foram utilizados mapas planialtimétricos construídos pelo Serviço Social Autônomo (Paraná Cidade), órgão da Secretaria do Desenvolvimento Urbano do Paraná, disponibilizados pelo Engenheiro Civil Ricardo Di Tommaso Bastos. Os mapas encontram-se em formato .DWG e estão representados na figura 11 a seguir:

Figura 11 - Mapas planialtimétricos

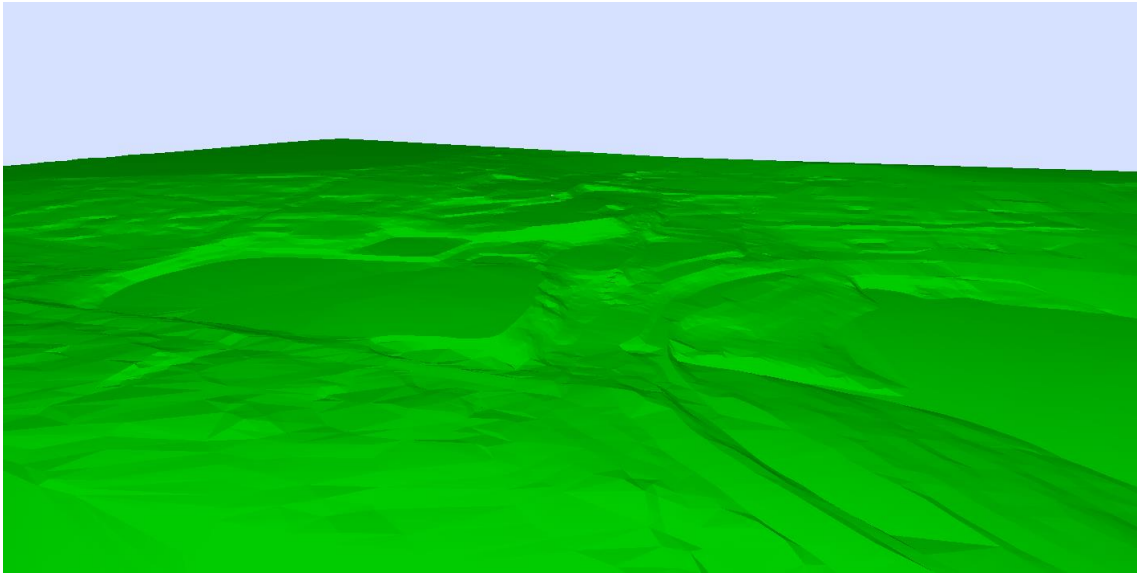


Fonte: Paraná Cidade

Nesses arquivos, o relevo é representado pelas chamadas polilinhas, recurso do Software Autocad, onde a cada metro de variação vertical de altitude, uma nova linha foi desenhada, garantindo assim, ao mapa, uma ótima precisão.

Para a migração dos mapas para o Software Cadna-A, os mesmos foram convertidos para o formato Drawing Exchange Format (.DXF). Após a importação no software, as polilinhas foram convertidas para curvas de nível, que compõem a superfície do terreno por meio de triangulação de pontos. A figura 12 ilustra o relevo da área estudada no ambiente do software de simulação:

Figura 12 - Modelagem do relevo no software Cadna-A

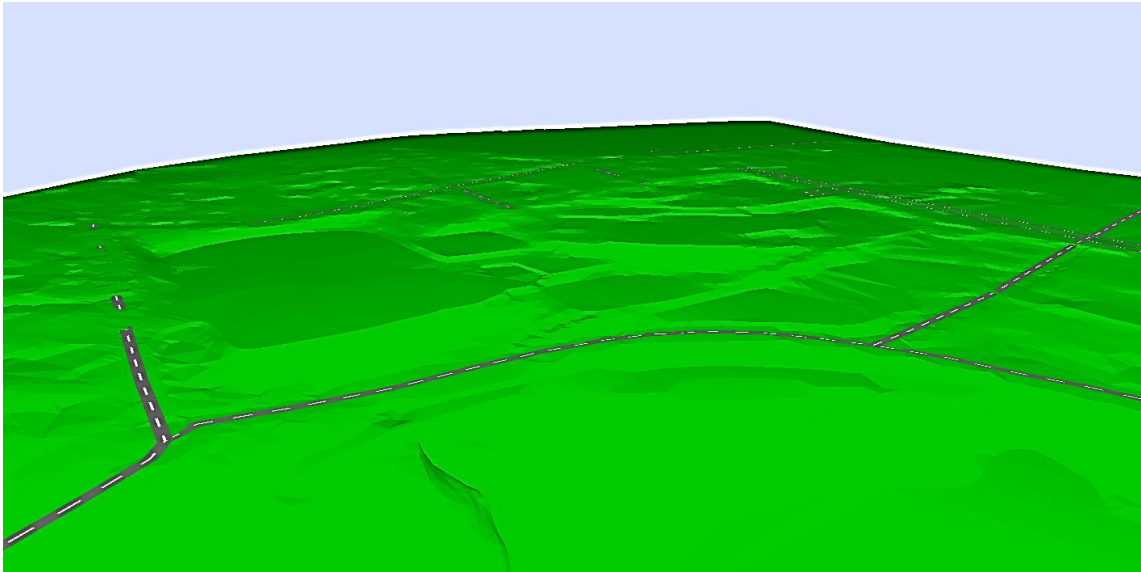


Fonte: Próprio Autor

4.2.2 Modelagem e caracterização das vias

A caracterização da geometria das vias, foi feita com base em imagens de satélite obtidas no Software Google Earth. As imagens de satélite foram sobrepostas ao relevo modelado e foram traçadas as vias situadas na área de estudo por meio do recurso estradas do software. A figura 13 a seguir mostra as vias modeladas sobre o relevo local.

Figura 13 - Modelagem das vias



Fonte: Próprio Autor

Para garantir que a correta inclinação das vias o campo altura relativa foi preenchido com valor zero, desta forma sua geometria acompanha a do relevo no qual está situada.

O software Cadna-A permite, como entrada para o cálculo de emissões das vias, o número de veículos que passam por elas no período de uma hora (veículos/hr). Para efetuar esses cálculos, ele considera diversas normas internacionais a serem definidas pelo usuário. Como a legislação brasileira não prevê regras para a obtenção de mapas de ruído, foi escolhida como base para esse trabalho a Diretiva Alemã sobre ruído ambiental, norma RLS-90.

As contagens de veículos foram realizadas durante o período de 11:50 as 12:10, considerado o de pico de tráfego de veículos na região. Durante a contagem, observou-se a passagem de veículos leves e pesados, assim como de motocicletas, que foram incluídas como carros no software por emitirem quantidades iguais ou até mesmo superiores aos mesmos.

As contagens foram feitas em todas as vias que circundam o campus, sempre no mesmo horário, apenas em dias úteis, garantindo assim, maior regularidade dos resultados (figura 14).

Figura 14 - Pontos de contagem



Fonte: Adaptado de Google Earth

As duas vias destacadas na figura 15 a seguir, apresentam fluxo de veículos bastante reduzido, a ponto de em determinados horários do dia, não haver passagem de nenhum veículo por hora. Portanto, para essas vias, os números de fluxo foram estimados considerando a passagem de 3 veículos a cada 2 minutos.

Figura 15 - Vias onde os valores foram estimados



Fonte: Adaptado de Google Earth

Os dados de tráfego foram organizados em uma tabela e podem ser observados a seguir:

Tabela 2 - Dados de tráfego obtido por contagem

Rua/Avenida	Nº de veículos leves	Nº de veículos pesados
Rua Santos Dumont	301	45
Rua Anchieta	268	16
Rua dos Expedicionários	67	4
Rua das Nações Unidas	54	3
Rua Antônio Silveira Brasil	48	6
Rua Tiradentes (estimado)	30	1
Rua dos Andrades(estimado)	30	1

Fonte: Próprio autor.

Para a alimentação do software, é necessário o fluxo de veículos por hora, portanto os resultados das contagens foram multiplicados por três. O software permite também a inserção de detalhes da porcentagem de veículos pesados, limite de

velocidade das vias e tipo de asfalto, dados esses que foram inseridos de acordo com as informações das vias estudadas e das contagens realizadas (figura 16).

Figura 16 - Campo de configuração da via

The screenshot shows a configuration window titled "Estrada (RLS 90)". The window contains the following fields and options:

- Nome:** Rua Santos Dumont
- ID:** EIXO_VIAS_E_ROD
- Limite de Velocidade (km/h):** 50 (Auto), Caminh: 50
- SCS/Dist. (m):** 0.0
- Emissão:**
 - Contagem, MDTD: 0
 - Contagem exata dos Dados:
 - Número de Veículos/Hora M: D: 460.00, E: 0.00, N: 0.00
 - Porcentagem veículos pesados p (%): D: 5.0, E: 0.0, N: 20.0
 - Lm,E dB(A):
 - D: 63.0, E: -6.6, N: -3.5
 - Labels: Dia, Início, Noite
- Superfície da Estrada:** 8. Asfalto Poroso 0/11
- Gradiente da Estrada: Ent** 0.0
- Reflexões Múltiplas:**
 - Drefl dB(A): 0.0
 - Altura Média (m): 0.0
 - Distância (m): 0.0
 - refletor

Buttons: OK, Cancelar, Geometria..., Ajuda.

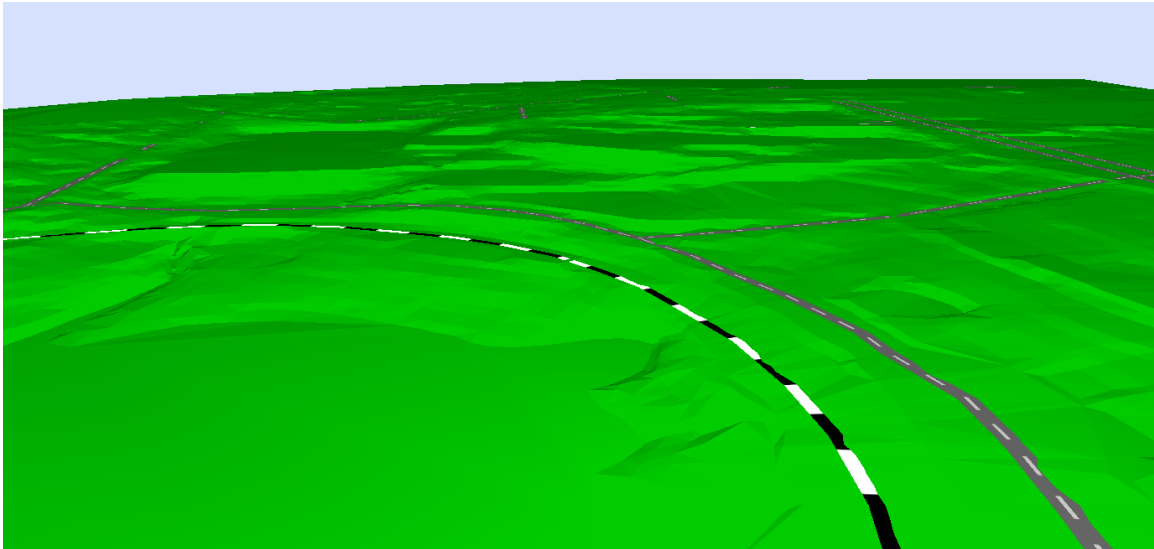
Fonte: Próprio autor.

4.2.3 Modelagem da linha férrea

A área escolhida para estudo é tangenciada por uma linha férrea, que durante a passagem da composição, torna-se uma importante fonte de ruídos, apresentando assim, significativo impacto no resultado das medições.

Para a modelagem da linha férrea foram utilizadas informações já existentes no mapa planialtimétrico, sendo necessário apenas a conversão do recurso polilinha do Autocad, para o recurso estrada de ferro do Software Cadna-A. A figura 17 mostra a representação da linha férrea no modelo.

Figura 17 - Modelagem da linha férrea



Fonte: Próprio autor.

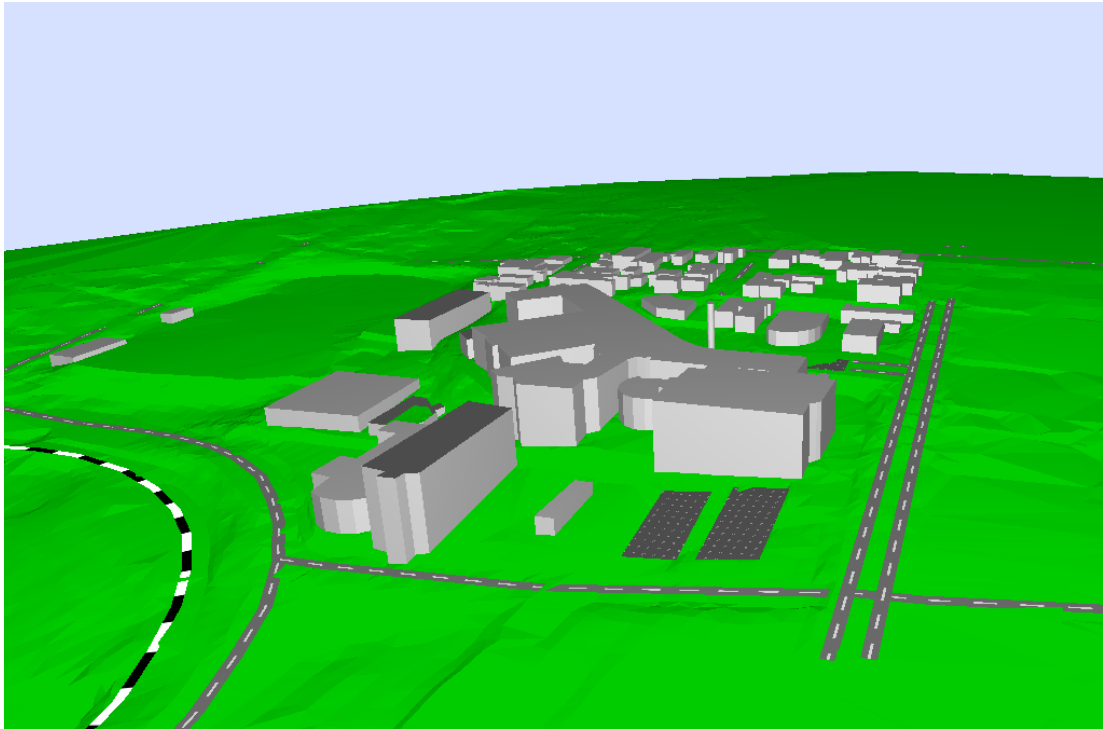
Para quantificar o ruído devido a passagem do trem pela linha férrea, o Software Cadna-A realiza os cálculos com base em informações como: tipo dos trilhos e velocidade máxima desenvolvida pela composição. Para a realização desses cálculos, como a legislação brasileira não prevê regras para a obtenção de mapas de ruído, foi escolhida como base a norma SRM II, que dentre as normas disponíveis no software é a mais atual e a que melhor se adequa aos dados de entrada disponíveis no estudo em questão.

4.2.4 Modelagem das edificações

Para a modelagem das edificações no software foram utilizadas algumas informações do mapa planialtimétrico importado para Cadna-A, sendo necessário apenas converter a polilinhas do Autocad para o recurso construção do software de simulação. Entretanto, devido sua construção não ser atual, foi necessário atualizar o modelo com novas edificações e expansões que ocorreram no campus e em suas vizinhanças com o passar dos anos.

Para tanto, foi sobreposta a imagem de satélite da região obtida no software Google Earth ao modelo em construção e as dimensões básicas das novas construções foram desenhadas. A figura 18 mostra o modelo com os perfis das edificações inseridos.

Figura 18 - Modelagem das edificações



Fonte: Próprio autor.

Uma informação imprescindível para a modelagem das edificações é a altura atingida por cada uma em relação ao solo. As alturas dos blocos do campus da universidade foram obtidas com ajuda do engenheiro civil Ricardo Di Tommaso Bastos, que disponibilizou essas informações para o estudo. As alturas das casas existentes no entorno da universidade e que são englobadas no estudo, foram aproximadas, considerando um valor de 3m para cada piso da casa, conforme recomendado por Andrade (2012).

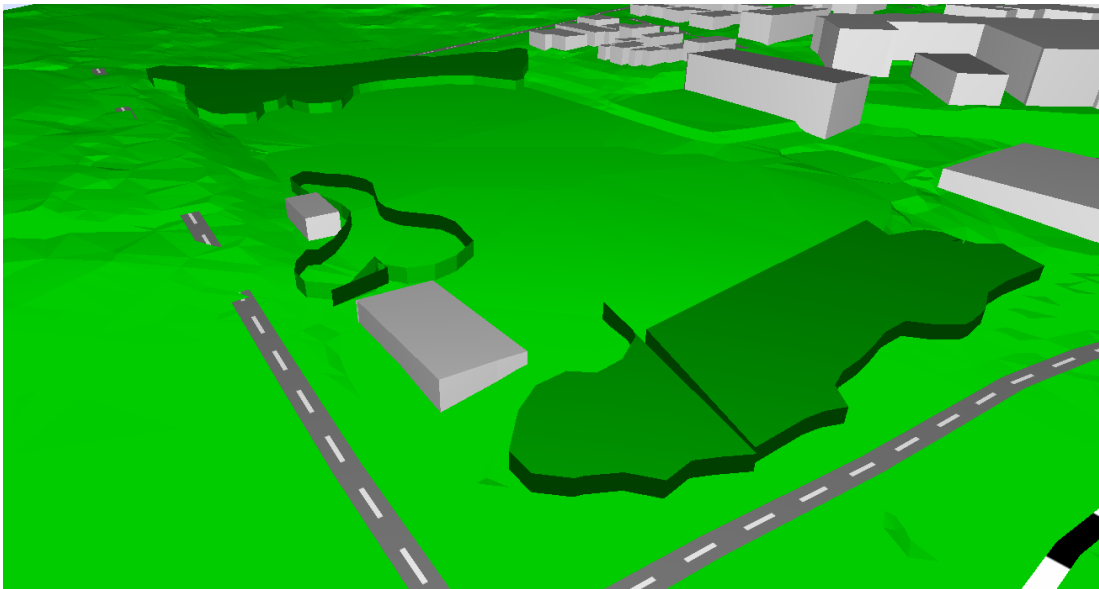
4.2.5 Modelagem da vegetação

Apesar de estar presente de maneira concentrada em poucos locais da área estudada, a vegetação age como elemento absorvedor de ruído e sua inserção no modelo é necessária devido ao fato de influenciar nos resultados da simulação.

O software Cadna-A permite que seja feita a representação da vegetação com base na sua geometria utilizando o recuso vegetação. O mapa planialtimétrico utilizado até então apresentava informações de áreas cobertas por vegetação,

entretanto, com o passar dos anos essa área diminuiu e foi necessário a atualização dessa informação com base em fotos de satélite obtida no software Google Earth. A figura 19 mostra a região coberta por vegetação no modelo.

Figura 19 - Modelagem da vegetação



Fonte: Próprio autor.

Detalhes como altura média e porte das árvores, foram obtidos por meio de simples observação em visitas ao local.

4.3 MEDIÇÕES

Os procedimentos de medição executados no presente trabalho, seguiram a normativa brasileira em vigor, a NBR 10.151 (ABNT, 2000). Esta normativa, dentre outras instruções, estabelece que:

- “No exterior das edificações que contêm a fonte, as medições devem ser efetuadas em pontos afastados aproximadamente 1,2 m do piso e pelo menos 2 m do limite da propriedade e de quaisquer outras superfícies refletoras, como muros, paredes etc.(...)”;
- Todos os valores medidos do nível de pressão sonora devem ser aproximados ao valor inteiro mais próximo.

- “Não devem ser efetuadas medições na existência de interferências audíveis advindas de fenômenos da natureza (por exemplo: trovões, chuvas fortes etc.).”
- “O tempo de medição deve ser escolhido de forma a permitir a caracterização do ruído em questão. A medição pode envolver uma única amostra ou uma sequência delas.”

4.3.1 Equipamento utilizado

Para a realização das medições foi utilizado o medidor de pressão sonora da marca Instrutherm, modelo dec-460, apresentado na figura 20.

Figura 20 - Decibelímetro Instrutherm dec-460



Fonte: Próprio Autor

4.3.2 Condições de medição

Antes de cada medição, foram tomados os seguintes cuidados a fim de evitar-se complicações ou inconformidades que pudessem comprometer os resultados:

- O equipamento foi configurado na curva de ponderação “A”, conforme recomendado pela norma vigente;
- A resposta foi configurada como “rápida”, conforme recomendado pela norma vigente;
- Respeitaram-se as características do microfone, quanto aos limites de temperatura, umidade e ângulo de colocação, conforme recomendado pelo fabricante;
- Verificou-se a bateria antes de cada medição;

As medições em campo foram realizadas durante um intervalo de tempo de 20 minutos, das 11:50 às 12:10, mesmo período em que foram feitas as contagens de tráfego de veículos pelas vias, considerado horário de pico, conseqüentemente o período no qual maiores níveis de pressão sonora incidem na área estudada. Evitou-se a influência de sons indesejados durante as medições como ruídos de vento e conversas, para tanto, os indivíduos que a executaram permaneceram em silêncio durante as coletas de dados. E, para inibir a influência do tempo, foi utilizado um atenuador de vento sobre o microfone.

4.3.3 Pontos de medição

A fim de obter-se medições representativas, os pontos externos do campus escolhidos foram os mesmos onde foram feitas as contagens do número de veículos que trafegam pelas vias. Os pontos de medição no interior do campus foram situados em locais estratégicos, que são considerados importantes para a medição e ao mesmo tempo não estão no caminho de grandes fluxos de pessoas, cujo ruído emitido, poderia influenciar nas medições. A figura 21 a seguir mostra a disposição dos pontos de medição.

Figura 21 - Pontos de medição



Fonte: Adaptado de Google Earth

Os pontos de medição são descritos e foram escolhidos baseados nos seguintes critérios:

Ponto 1: situa-se próximo na entrada do Bloco P da UTFPR, apresenta grande fluxo de alunos durante esse período, por englobar o fim das aulas da manhã e o deslocamento dos alunos até o refeitório ou para o exterior do campus.

Figura 22 – Ponto de medição 1



Fonte: Próprio Autor

Ponto 2: situa-se próximo a saída do Ninho dos Pardais, localizado a cerca de 10 metros do fluxo de pessoas que saem da UTFPR nesse período, distancia essa, que atenua a influência do ruído provocado pelas conversas entre os indivíduos nas medições.

Figura 23 - Ponto de medição 2



Fonte: Próprio Autor

Ponto 3: Esquina da Avenida Alberto Carazzai com a Avenida Santos Dumont, foi escolhido por ser o mesmo ponto onde foram feitas as contagens de números que veículos que trafegam pela Avenida.

Figura 24 - Ponto de medição 3



Fonte: Próprio Autor

Ponto 4: Esquina da Avenida Santos Dumont com a Rua dos Expedicionários, foi escolhido por ser o mesmo ponto onde foi feita a contagem de veículos que trafegam pela Rua dos Expedicionários.

Figura 25 - Ponto de medição 4



Fonte: Próprio Autor

Ponto 5: Esquina da Avenida Santos Dumont com a Rua Anchieta, foi escolhido por ser o mesmo ponto onde foi feito a contagem de veículos que trafegam pela Rua Anchieta.

Figura 26 - Ponto de medição 5



Fonte: Próprio Autor

Ponto 6: Esquina da Rua Anchieta com a Rua das Nações Unidas, foi escolhido por ser o mesmo ponto onde foi feito a contagem de veículos que trafegam pela Rua das Nações Unidas.

Figura 27 - Ponto de medição 6



Fonte: Próprio Autor

4.3.4 Tratamento dos dados medidos

Para uma correta validação do modelo, os dados de pressão sonora medidos, devem ser descritos em termos de L_{eq} , ou nível de pressão sonora equivalente. Devido ao fato de o aparelho disponibilizado pela universidade não apresenta essa função, foram seguidas as orientações contidas no “Anexo A” da NBR 10.151 (ABNT, 2000), que disponibiliza uma expressão matemática, representada pela equação 3 no presente trabalho, para o cálculo do L_{eq} , a partir de uma série de medições feitas em intervalos de 5 segundos.

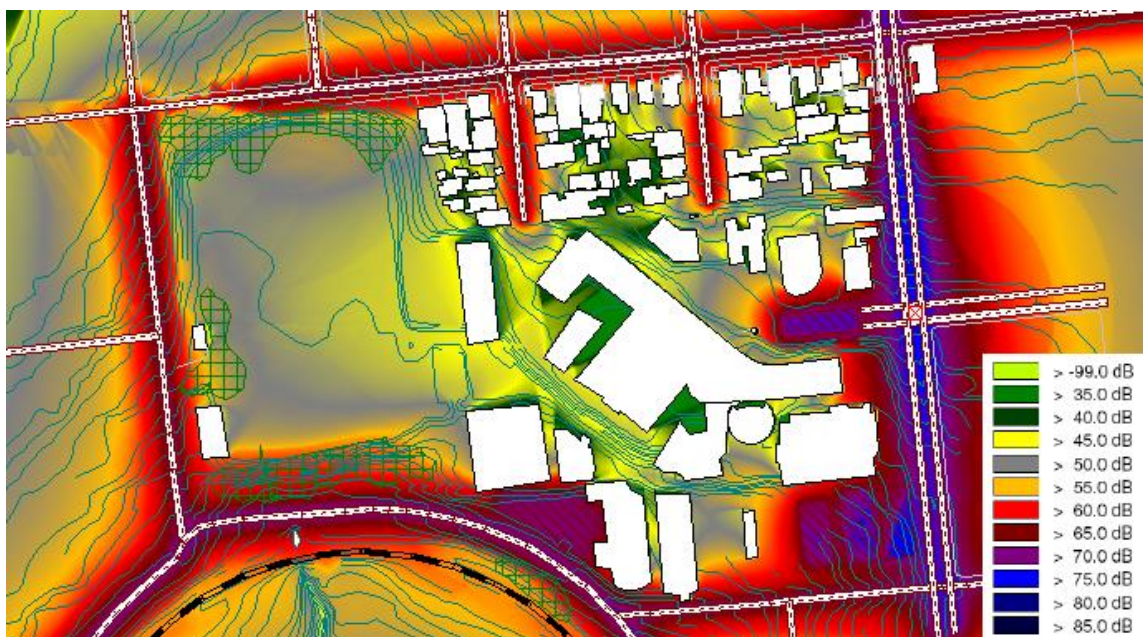
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados e analisados os resultados das medições e das simulações, assim como serão propostas alternativas a fim de diminuir os níveis de poluição sonora no interior do campus.

5.1 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

A figura 28 mostra o resultado da simulação para o período de pico (das 11:50 às 12:10) na área de estudo.

Figura 28 - Mapa acústico da área estudada



Fonte: Próprio Autor

Os níveis de pressão sonora previstos na simulação são representados pela malha colorida em cores progressivas, onde a coloração verde caracteriza os locais com níveis de ruído mais baixos (<40dB) e a coloração azul caracteriza os locais onde o ruído alcançou valores mais críticos (>75dB).

5.2 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

Após a realização das medições, os valores registrados foram inseridos na equação 3, recomendada pela norma NBR 10.151:2000, a fim de obter-se os valores do Leq para cada ponto escolhido. Os valores medidos e calculados foram organizados tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Comparação dos valores medidos com o limite recomendado pela norma (50dB (A))

Ponto	Valor medido (dB (A))	Diferença da norma (dB (A))
1	53,65	+3,65
2	50,02	+0,02
3	69,04	+19,04
4	78,74	+28,74
5	69,35	+19,35
6	65,56	+15,56

Fonte: Próprio autor.

De acordo com a Norma NBR 10.151:2000, levando-se em consideração o período do dia analisado e o tipo de ocupação praticada na área de estudo, estritamente residencial urbanas ou de escolas, o nível máximo de poluição sonora recomendada é de 50dB. Confrontando os valores medidos com o limite normalizado, observa-se que 5 dos 6 pontos analisados apresentaram níveis acima dos limites aceitados na norma. Podendo resultar em danos à saúde dos indivíduos que diariamente frequentam esses locais.

Analisando cada ponto estudado individualmente, verifica-se que o ponto 1, localizado na saída do Bloco P, mostrou-se exposto a níveis pouco acima dos recomendados pela norma, apenas 3,65 dB. Entretanto, essa extrapolação pode ter atribuída ao fato da localização do ponto de medição estar susceptível a ruídos produzidos pelo fluxo de pessoas que saem do Bloco P nesse período, como conversas altas por exemplo, elevando os níveis de pressão sonora constatados.

O ponto 2, localizado próximo ao Ninhos dos Pardais, o único dentre os estudados a estar submetido a níveis de ruído considerados recomendados pela norma, aproximadamente 50dB. Valor este que se deve, provavelmente, ao fato de a localização dele não permitir a influência de ruídos provindos do fluxo de pessoas, que saem da universidade, na medição.

O ponto 3, localizado na esquina da Rua Santos Dumont com a Avenida Alberto Carazzai, ao contrário do que se esperava, não se mostrou o mais crítico dentre os analisados. Entretanto os níveis de pressão sonora medidos neste local ultrapassaram o recomendado pela norma em 19,04 dB. Este valor pode ser atribuído ao intenso fluxo de veículos e pessoas no horário analisado, em conjunto com a presença de um semáforo e o estacionamento dos estudantes em sua proximidade.

O ponto 4, localizado na esquina da Rua Santos Dumont com a Rua dos Expedicionários, apresentou valores altíssimos para níveis de ruído, ultrapassando o recomendado pela norma em 28,74 dB. Isto se deve, principalmente, à maior velocidade desenvolvida pelos veículos nesse ponto, devido ao declive presente na via e a ausência de dispositivos que de controle da velocidade do tráfego, tais como lombadas e radares.

O ponto 5, localizado no encontro da Avenida Santos Dumont com a Rua Anchieta, apresentou valores 19,35 dB acima dos permitidos na norma. Valor este que se deve tanto ao intenso fluxo de veículos nas vias durante o horário estudado quanto a má conservação do pavimento.

O ponto 6, localizado no encontro da Rua Anchieta com a Rua das Nações Unidas, foi constatado níveis de ruído 15,56 dB acima da Norma. Os resultados obtidos podem ser atribuídos, principalmente à má qualidade do pavimento, haja vista que o fluxo de automóveis não pode ser considerado como intenso neste local.

5.3 VALIDAÇÃO DO MODELO

Para que o modelo tridimensional construído no software Cadna-A seja representativo, o que possibilitaria o seu emprego na busca por alternativas para mitigar os problemas encontrados, é necessário antes validá-lo através da comparação dos resultados das simulações com medições realizadas em campo..

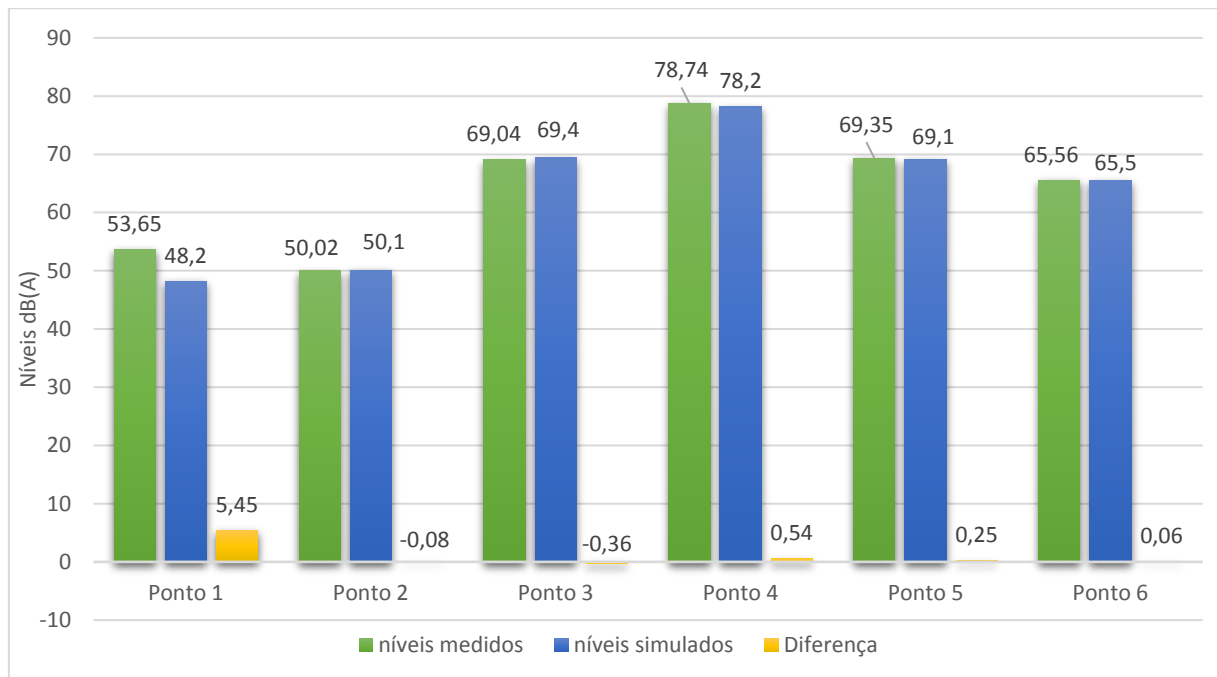
Para tanto foram coletados os valores de pressão sonora da simulação nos mesmos locais dos pontos onde foram realizadas as medições. Os dados foram confrontados e podem ser visualizados na tabela 4 e no gráfico 1 a seguir:

Tabela 4 - Comparação dos níveis medidos com os níveis simulados

Ponto	Níveis medidos dB (A)	Níveis simulados dB(A)	Diferença dB(A)
1	53,65	48,2	+5,45
2	50,02	50,1	-0,08
3	69,04	69,4	-0,36
4	78,74	78,2	+0,54
5	69,35	69,1	+0,25
6	65,56	65,5	+0,06

Fonte: Próprio autor.

Gráfico 1- Comparação dos níveis medidos com os níveis simulados



Fonte: Próprio Autor

A maior variação dos valores medidos e simulados ocorreu no ponto 1, onde a simulação apontou um valor 5,45 dB (A) menor do que as medições indicaram. É sabido que essa variação se deve principalmente ao fato de o modelo não levar em consideração o fluxo de pessoas, que gera ruídos significativos principalmente devido à conversa entre os indivíduos. Enquanto a menor variação entre valores medidos e simulados ocorreu no ponto 5 e foi da ordem de 0,06 dB.

Após a comparação dos dados, pode-se constatar que o erro médio entre os dados medidos e simulados foi de -0,92 dB (A) e o erro médio absoluto (média dos

valores absolutos dos erros) foi de 1dB (A). Tomando como base trabalhos semelhantes na literatura, como Fernandes (2013) e Souza (2012), o erro obtido pode ser considerado satisfatório, visto que existem diversas incertezas nas medições e nas simulações que não foram consideradas. Neste caso, não houve a necessidade de ajustes do modelo, pois foi utilizado um Leq de 20 minutos, enquanto trabalhos semelhantes utilizaram Leq de 5 minutos a 10 minutos. Esse tempo maior de observação gerou valores bastante confiáveis pois realiza médias mais prolongadas.

Tendo em vista que não houve necessidade de ajustes no modelo, e que os erros obtidos podem, em sua grande maioria, ser considerados como toleráveis, pode-se afirmar que se obteve um modelo representativo da região analisada, podendo ser usado com segurança em investigações de diversas naturezas, tais como a proposição de medidas para o controle de ruído.

5.4 PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES

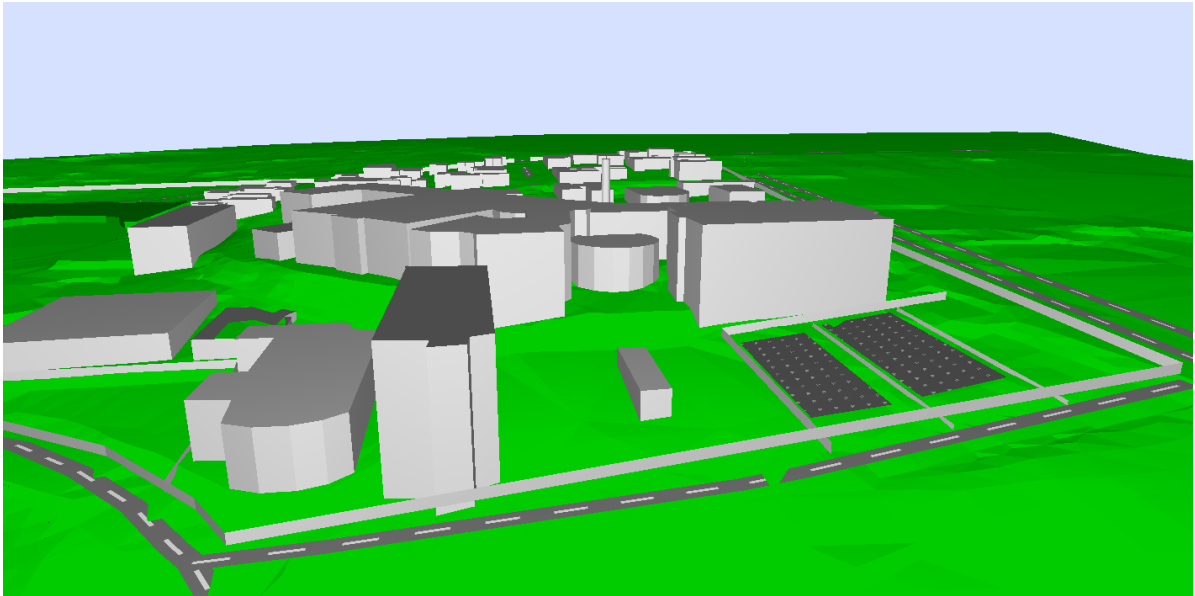
Conforme comentado anteriormente, tanto os resultados das medições quanto das simulações realizadas neste trabalho, retornaram valores de pressão sonora acima dos recomendados pela norma NBR 10.151:2000, que rege os procedimentos e condições para análise de ruídos externos em geral. Com o intuito de buscar alternativas para lidar com os níveis de ruído no interior do Campus da UTFPR, foram simuladas modificações, que são descritas a seguir.

5.4.1 Proposta 1

A primeira proposta, baseou-se no princípio de isolamento das fontes emissoras de ruído da área de interesse, no caso, o interior do campus da UTFPR. Para tanto, foi proposto a substituição das grades, que atualmente cercam o campus, por um muro de 2 metros de altura, que devido a sua característica de construtiva sólida, se mostra muito mais eficaz no isolamento acústico do que grades que apresentam geometria vazada. Para melhorar a eficácia da melhoria, foi incluído na simulação, também um muro de igual geometria, cercando os estacionamentos, que se mostraram significativa fonte emissora de ruídos nas simulações.

A figura 29 a seguir mostra no modelo 3d as modificações realizadas:

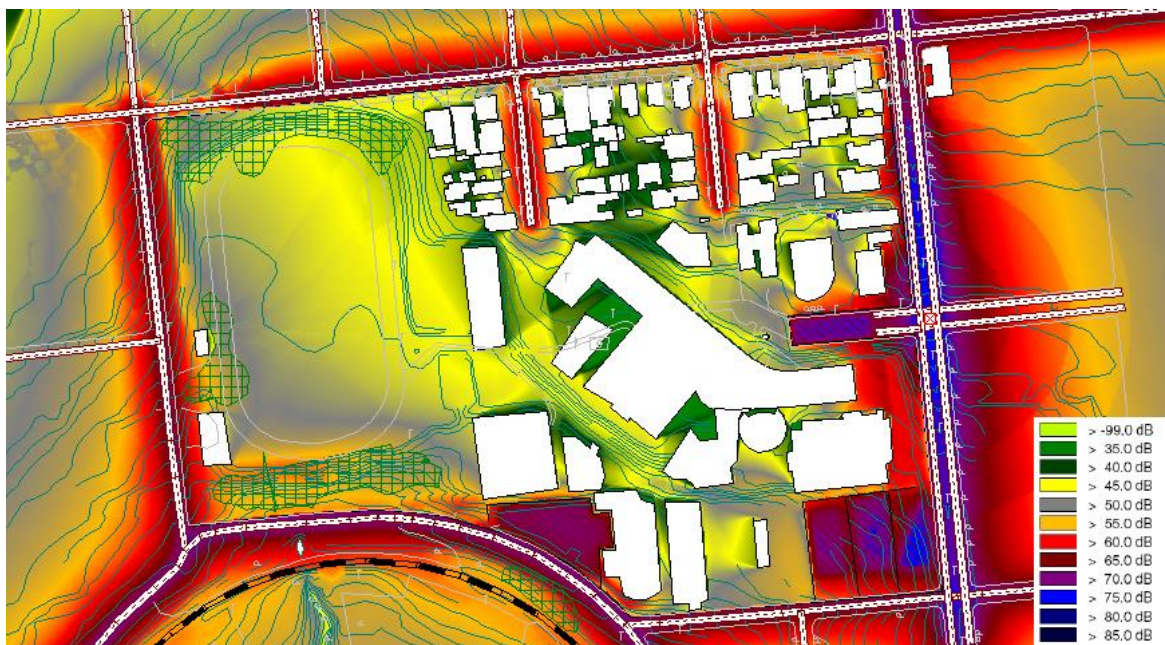
Figura 29 - Modelo com a melhoria 1 aplicada



Fonte: Próprio Autor

A simulação gerou o mapa acústico conforme ilustra a figura 30 a seguir:

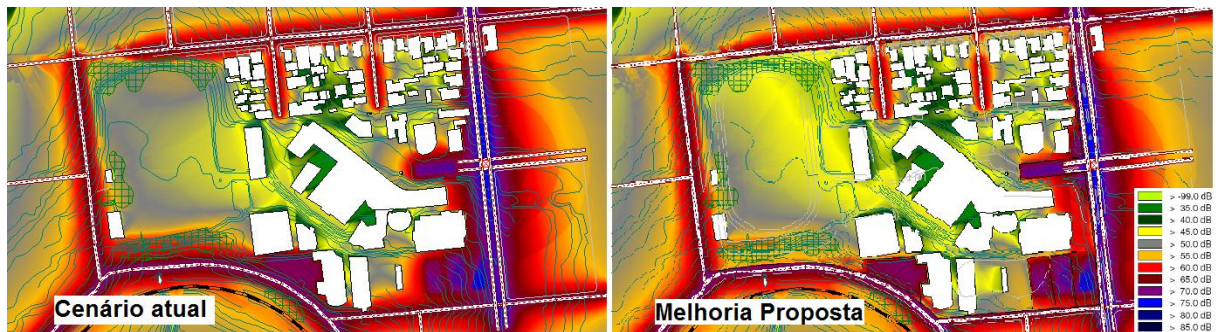
Figura 30 - Mapa acústico resultante da aplicação da melhoria 1



Fonte: Próprio Autor

Para facilitar a comparação a figura 31 mostra a comparação entre os mapas acústicos da situação atual e da situação com a melhoria proposta:

Figura 31 - Comparação entre cenário atual e cenário com a melhoria proposta



Fonte: Próprio Autor

Analisando-se os resultados da simulação, pode-se observar, que houve significativa melhoria com a adição do muro cercando o campus. Desta forma, grande parte do ruído gerado pela passagem dos veículos pela via e pelo seu transito nos estacionamentos, fica isolada do interior do campus.

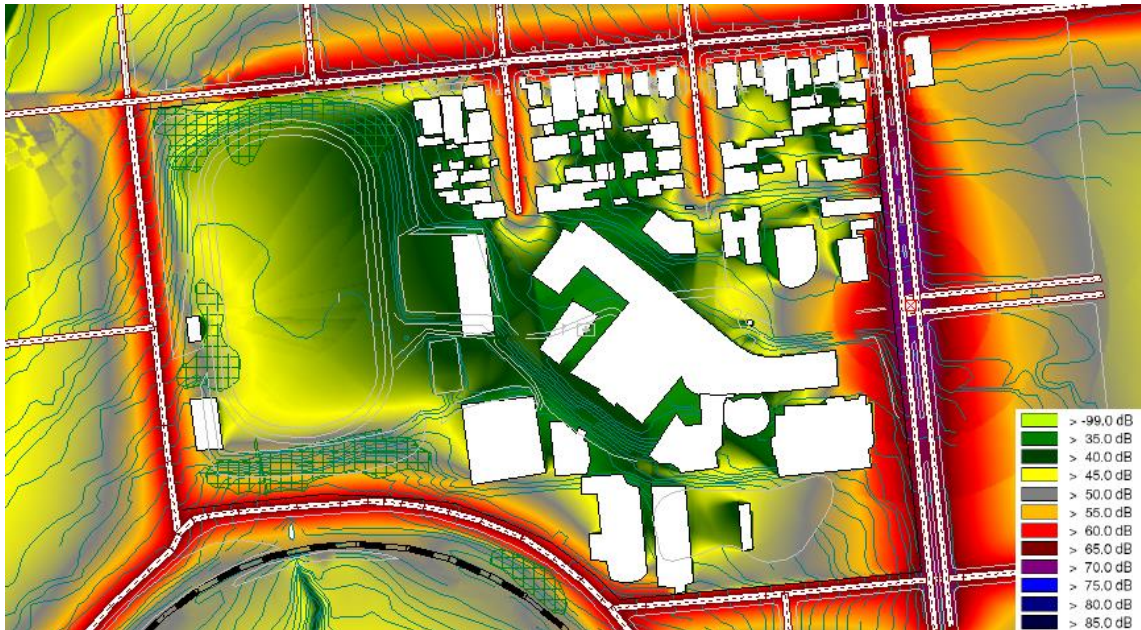
Entretanto, essa solução não se mostrou eficiente como esperado, permitindo que uma porção significativa do ruído adentre no campus, elevando os valores indicados pelo software, principalmente nos entornos da biblioteca nova, onde os valores atingiram 61,8 dB (A), valor este bem acima do 50dB (A) recomendado pela norma.

5.4.2 Solução 2

Tendo como base a tentativa anterior, que não obteve sucesso em isolar a fonte dos ruídos da área de interesse, buscou-se uma nova abordagem, desta vez, agindo na fonte do ruído. Para tanto, foi proposto a diminuição da velocidade permitida na via, dos atuais 50km/h para 30km/h, diminuindo assim o ruído provindo da rolagem dos pneus sobre a via e também a rotação desenvolvida pelos motores dos veículos. Foi proposto também, o desvio do transito de veículos pesados, os quais são mais ruidosos, para outras vias. Além disso foram retirados os estacionamentos existentes no interior do campus, por se mostrarem grandes fontes de ruídos nas simulações realizadas até então.

A simulação gerou o mapa acústico conforme ilustra a figura 32 a seguir:

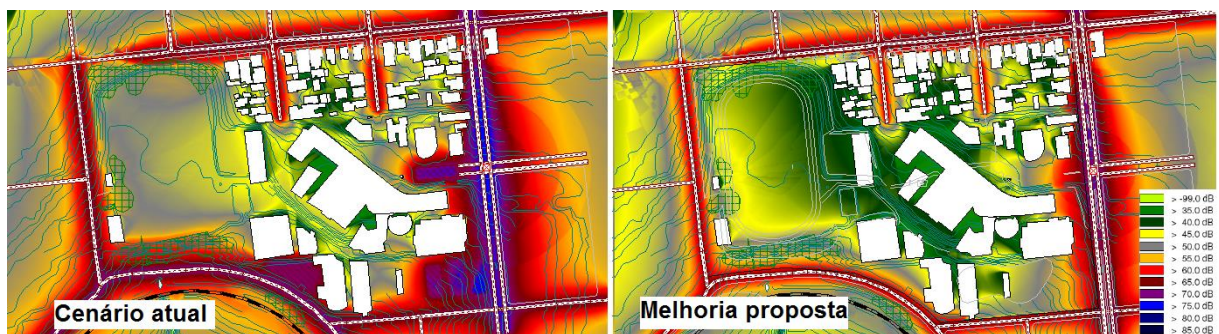
Figura 32 - Mapa acústico resultante da aplicação da melhoria 2



Fonte: Próprio Autor

Para facilitar a comparação a figura 33 mostra a comparação entre os mapas acústicos da situação atual e da situação com a melhoria proposta:

Figura 33 - Comparação entre cenário atual e cenário com a melhoria proposta



Fonte: Próprio Autor

Como pode ser visto na comparação, a melhoria proposta reduz significativamente a emissão de ruídos na área estudada, diminuindo assim, conseqüentemente, os níveis de poluição sonora no interior do campus. Entretanto, assim como a melhoria anterior, ela não se mostrou efetiva a ponto de os valores lidos no interior do campus estarem conforme recomenda a norma. Novamente o local mais

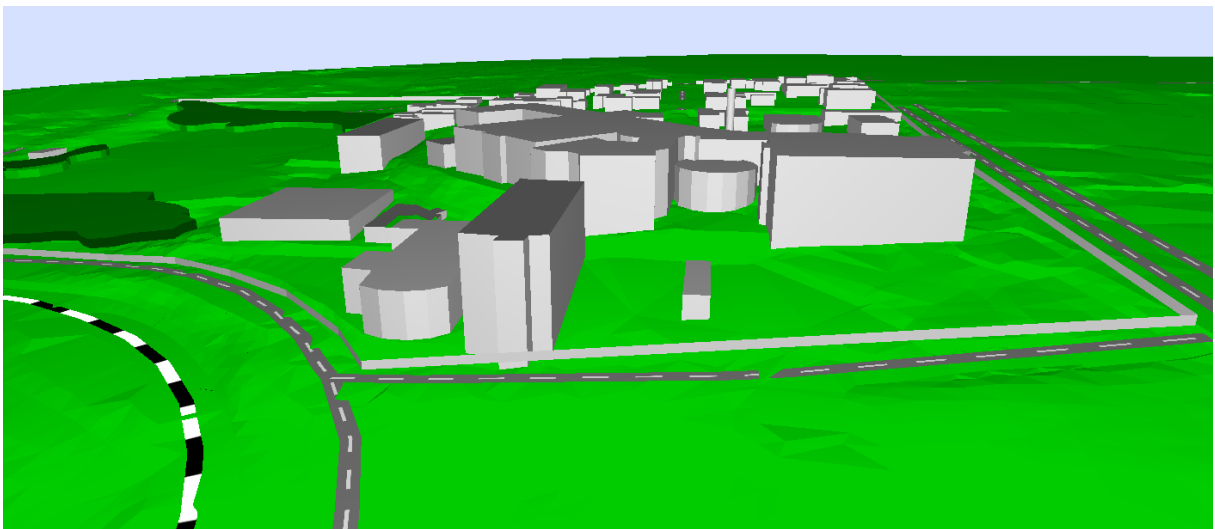
crítico da simulação é próximo a nova biblioteca, onde os níveis de pressão sonora atingiram 61,4 dB (A).

5.4.3 Solução 3

Como visto anteriormente, nem isolando a fonte, nem controlando o ruído da fonte atingiu-se o resultado esperado, que seria a conformidade dos níveis de poluição sonora no interior do campus com a norma NBR 10151:2000. Portanto para esta terceira melhoria, buscou-se combinar as duas anteriores, adicionando um muro de 2 metros de altura cercado a universidade, reduzindo a velocidade da via para 30km/h, proibindo o tráfego de veículos pesados, como ônibus e caminhões, e retirando os estacionamentos do interior do campus.

A figura 34 a seguir mostra no modelo 3d as modificações realizadas:

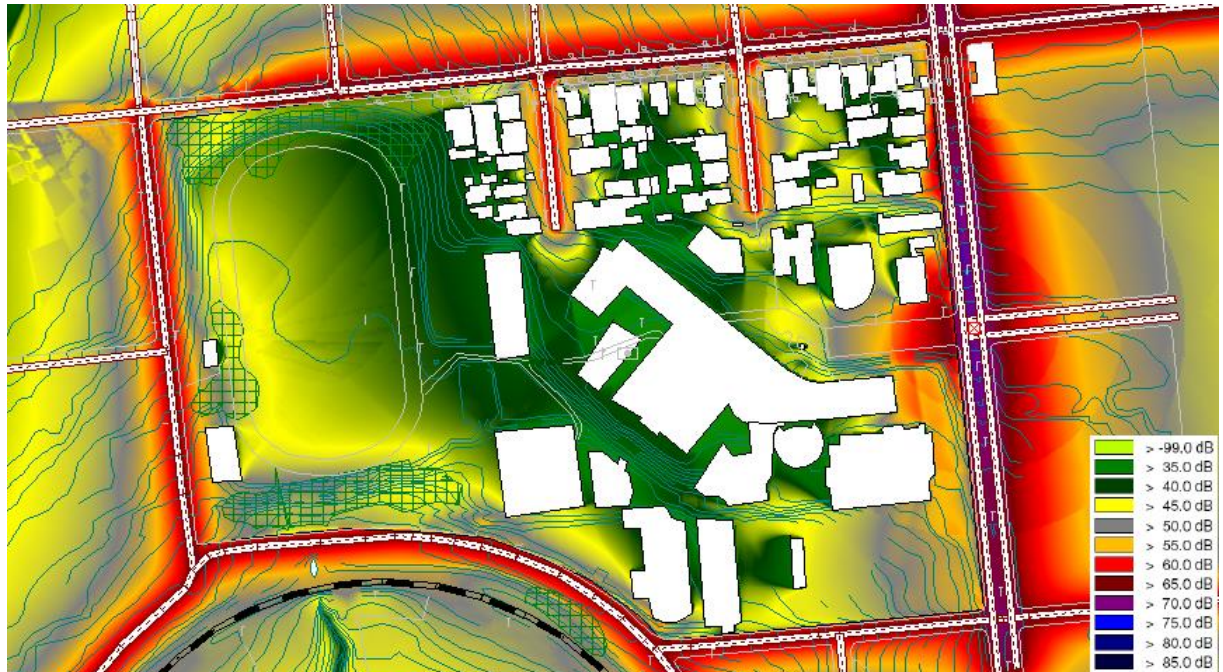
Figura 34 - Modelo com a melhoria 3 aplicada



Fonte: Próprio Autor

A simulação gerou o mapa acústico conforme ilustra a figura 35 a seguir:

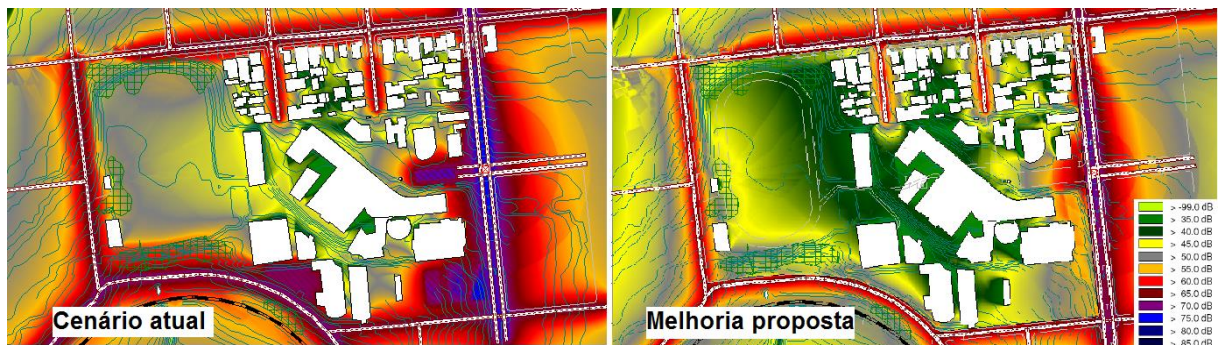
Figura 35 - Mapa acústico resultante da aplicação da melhoria 2



Fonte: Próprio Autor

Para facilitar a comparação a figura 36 mostra a comparação entre os mapas acústicos da situação atual e da situação com a melhoria proposta:

Figura 36 - Comparação entre cenário atual e cenário com a melhoria proposta



Fonte: Próprio Autor

Conforme pode ser visto na Figura 36 a terceira solução proposta mostrou-se a mais eficiente. Nela a quantidade de ruído que adentrou no interior do campus foi a menor, resultando em toda a área do mesmo, exposta a níveis de pressão sonora abaixo dos limites normalizados. Analisando-se especificamente os entornos da

biblioteca, o local mais afetado pela poluição sonora provinda da via e dos estacionamentos, obteve-se o valor para a pressão sonora de 49,5 dB (A), que se encontra abaixo do limite de 50 dB (A) recomendado pela norma.

Portanto a solução 3, dentre todas as simuladas, é a única que, caso aplicada, proporcionaria aos estudantes, servidores e docentes o conforto acústico recomendado e asseguraria que a poluição sonora não causaria danos à saúde física e mental dos mesmos.

5.4.4 Outras possíveis soluções

Além das melhorias acima sugeridas, outras atitudes podem contribuir significativamente para a redução dos níveis de ruído no interior do campus assim como em suas vizinhanças:

- Melhorar a qualidade das vias que cercam o campus, reconstruindo o pavimento de forma a evitar irregularidades;
- Utilização de motores híbridos ou elétricos, menos ruidosos nos veículos;
- Controlar o nível de ruídos nos veículos por meio de inspeções anuais, que multem os proprietários de veículos ruidosos;
- Rebaixar a via em relação às suas vizinhanças a fim de isolar o ruído das áreas de interesse.

6 CONCLUSÃO

O campus de Cornélio Procópio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), tem porte pequeno e caracteriza-se pela tranquilidade. Entretanto, as medições, assim como as simulações realizadas no presente trabalho, evidenciaram que diversos locais da universidade estão expostos, em determinados horários, a níveis de ruídos que excedem os limites recomendados na norma NBR 10151:2000, que estabelece os limites para o conforto acústico em diversos tipos de ocupação de terrenos. Esta não conformidade com a norma, pode resultar em danos físicos e psicológicos aos indivíduos que diariamente convivem nessas áreas, sendo esses desde problemas de concentração e stress, até distúrbios gástricos e hormonais.

Fazendo-se uma análise mais aprofundada das fontes de ruído da região, constatou-se que, ao contrário do que se esperava, a passagem do trem pela linha férrea, não é a fonte que mais contribui para a poluição sonora no interior do campus, atribuindo à composição, um papel secundário no estudo. A fonte que se mostrou, mais relevante no estudo, foi o trânsito de veículos pelas vias, a qual acentuou-se devido à má condição das mesmas, havendo inúmeros buracos e irregularidades em sua extensão.

Realizando a comparação dos dados medidos com os dados simulados, observou-se uma boa correlação entre resultados, possibilitando a sua aplicação para extrapolações, como por exemplo a proposição de soluções, conforme foi realizado no estudo.

Após a construção do modelo tridimensional, foram simuladas 3 possíveis alternativas que visam reduzir o ruído no interior do campus. As simulações mostraram que para a situação estudada, melhorias mais simples e de baixo custo, como apenas reduzir a velocidade da via e desviar o fluxo de veículos pesados, não se mostraram tão eficientes. Sendo preciso recorrer a mudanças mais interventivas como a construção de muros cercado toda a universidade e o remanejamento de estacionamentos para reduzir a poluição sonora a níveis aceitos pela norma. Mudanças estas, que além de complexas e custosas, alteram a arquitetura do campus.

É importante atentar-se à tendência de a poluição sonora em qualquer região urbana, aumentar gradativamente, devido a fatores como o aumento da frota e o

envelhecimento da mesma. Portanto, caso soluções não sejam projetadas e aplicadas a curto prazo, os níveis de poluição podem atingir valores críticos, dificultando e encarecendo ainda mais a implantação de melhorias eficientes.

Conforme pôde-se observar, a tecnologia de mapeamento de ruído pelo software Cadna-A, demonstrou ser uma ótima ferramenta para a avaliação do impacto da poluição sonora, exibindo de forma simples e gráfica os resultados, evidenciando os locais que demandam a implantação de soluções acústicas. Características essas, que tornam esse método, altamente recomendável para prefeituras e órgãos públicos, que devem tratar do problema acústico desde início do planejamento de novas áreas habitadas, visto que, em casos como este, a prevenção é muito menos custosa do que a remediação.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

A realização deste trabalho, até então o primeiro da área acústica realizado no campus de Cornélio Procópio, abre inúmeras portas para novos estudos a serem realizados acerca deste tema. Para trabalhos futuros sugere-se realizar:

- Estudos que englobem áreas maiores, como bairros inteiros ou até mesmo toda a área urbana do município de Cornélio Procópio;
- Estudos em outros horários, como o período noturno, no qual a poluição sonora pode prejudicar a qualidade do sono dos indivíduos;
- Estudo do ruído emitido por empresas e indústrias da região, assim como o seu impacto na população;
- Realização do estudo feito no presente trabalho a cada dois anos, a fim de se ter meios para a comparação da evolução ou diminuição da poluição sonora na região;
- Análises de custos e viabilidade de implementação de soluções que sejam efetivas para a situação estudada.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. C. **ELABORAÇÃO DE UM MAPA ACÚSTICO PARA A REGIÃO CENTRAL DE CURITIBA E PRINCIPAIS VIAS DE ACESSO AO CENTRO DA CIDADE**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10151: Avaliação do nível de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade**. Rio de Janeiro, 2000.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. Blucher, 2ª ed. São Paulo, 2011.

CALIXTO, Alfredo. **“Apostila de Conceitos fundamentais: Vibração, Som e Luz.”** 2013.

CARVALHO, L. C. **Aplicação da legislação sobre ruído à escala do aglomerado urbano**. S.d. Disponível em:<<http://sapiencia.ualg.pt/bitstream/10400.1/194/1/CARA.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.

DEÓUX, P; DEÓUX, S. **O Barulho**; Ecologia é a saúde. Lisboa: Instituto Piaget, 1996. p.217-244.

FERNANDES, J. C. **Acústica e Ruídos**. 2002. Apostila do curso de graduação em Eng. Mecânica. UNESP. 18 p. Bauru, SP (a).

FERNANDES, J. C. **O ruído ambiental**: seus efeitos e seu controle. Apostila do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Departamento de Engenharia Mecânica. UNESP - Campus de Bauru, 2002 (b).

FERNANDES, W. C. **ANÁLISE DO RUÍDO URBANO NA ÁREA CENTRAL DE LUANDA**. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

GERGES, S. **Ruído** - fundamentos e controle. 2 ed. NR Editora, 2000.

GERGES, S.N.Y. **Ruído**: fenômenos e controle. Florianópolis: UFSC, 1992. 660 p.

GIUNTA, M. B. **Análise de modelagem de previsão acústica e mapeamento sonoro para a cidade de São Carlos – SP**. 2013. 155p. Dissertação de Pós-Graduação – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia**: adaptando o homem ao trabalho. 4. ed. Porto Alegre: Bookmam, 1998.

ISO 1996/2. “**Description and measurement of environmental noise** - Part 1: Basic quantities and procedures.” Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, International Standard ISO 1996, 1987.

LACERDA, A. B. M.; MAGNI, C.; MORATA, T. C.; MARQUES, J. M.; ZANNIN, P. H. T. Ambiente Urbano e Percepção da Poluição Sonora. **Ambiente & Sociedade**, v. 8, n. 2, 2005.

LESSA, B. P. V. **AVALIAÇÃO DE POLUIÇÃO SONORA EM ASSENTAMENTO INFORMAL**: ESTUDO DE CASO COMUNIDADE SANTA MARTA-RJ. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

METZEN, H. A. **Introduction to CadnaA**. DataKustik. Greifenberg, Alemanha, 2009.

MOORE, K. L.; DALLEY, A. F. **Anatomia orientada para clínica**. Rio de Janeiro. 2001.

NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental**: diretrizes e metodologia. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2004.

NIEMEYER, M. L.; PORTO, M. M.; LIMA, P. R.; **Qualidade térmica e acústica em ruas do bairro de São Cristóvão, Rio de Janeiro**. In: VII ENCONTRO NACIONAL DO IV AMBIENTE CONSTRUÍDO E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Maceió, 2005.

OSADA, Y., 1988, “**An Overview of Health Effects of Noise**”. *JSV*, v. 127, n. 3, pp. 407-410.

SANTOS, U. de P.; MATOS, M. P.; MORATA, T. C.; OKAMOTO, V. A. **Ruído: riscos e prevenção**. 2. ed. São Paulo: Hucitec, 1996.

SALIBA, T. M. **Manual prático de avaliação e controle do ruído**. 3. ed. São Paulo: LTr, 2004.

SOUZA, D. F. M. **MAPEAMENTO ACÚSTICO DO RUÍDO DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO DO BAIRRO IMBUÍ, SALVADOR-BA**. 2012. 360 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

WHO: **Guidelines for community noise**, 1999. Disponível em < <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html> >. Acesso em: 10 set. 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for Community**. London, United Kingdom, 1999. Disponível em: <<http://www.who.int/en/>>. Acesso em: 10 set. 2016.