

Desenvolvimento de uma Plataforma Calculadora para Análise dos Níveis de Ruído Rodoviário

Ana Beatriz Martins, Isadora Wenzel da Silveira, Yuri Castilho, Wagner de Sousa Santos (Orientador), Marcos Souza Lenzi (Coorientador)

Escola Sesi. Florianópolis - SC

RESUMO

Este estudo tem como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma online dedicada à análise dos níveis de ruído rodoviário, utilizando modelos matemáticos e linguagem de programação. Essa plataforma se propõe a ser uma ferramenta eficaz para avaliar e mitigar os efeitos sonoros decorrentes do fluxo rodoviário. A metodologia empregada inclui a integração de dados geoespaciais, informações sobre as características das rodovias, dados de tráfego de veículos e modelos analíticos para permitir um cálculo mais preciso dos níveis de ruído em decibéis (dB) em diversos pontos ao longo das vias. É fundamental destacar a relevância desse problema, já que o fenômeno do ruído rodoviário afeta significativamente a qualidade de vida das comunidades adjacentes. Cabe ressaltar que o combate ao ruído rodoviário é um desafio global que demanda abordagens complexas e o uso de novas tecnologias para minimizar seus impactos negativos. Como resultados deste estudo, foram ajustados e validados oito modelos com suas respectivas características por meio de testes feitos com os resultados calculados na plataforma *Web*. A diversidade desses modelos e a apresentação dos conteúdos em pauta representam uma abordagem abrangente para enfrentar o desafio em questão, tornando possível a adaptação às necessidades específicas de diferentes situações e regiões e contribuindo para uma compreensão mais ampla e eficaz do tema.

Palavras-Chave: Ruído Rodoviário, Calculadora, Desenvolvimento Web.

I. INTRODUÇÃO

A. Contextualização

O ruído ambiental é um fenômeno importante e comum em áreas urbanas, seja pelo funcionamento de indústrias, a movimentação de multidões ou o tráfego de veículos. A constante exposição ao ruído acima de um limite aceitável afeta o bem-estar humano de múltiplas formas, prejudicando a qualidade do sono (HUME *et. al*, 2012), diminuindo a capacidade de audição (PASSCHIER-VERMEER; PASSCHIER, 2000) e até aumentando a probabilidade de doenças cardiovasculares (MÜNZEL, 2014). A importância

de se medir e analisar os níveis de ruído ao redor das habitações cresce conforme se torna um problema à saúde e bem-estar dos habitantes.

O problema do ruído rodoviário na cidade de Florianópolis se agrava a cada ano devido ao aumento do fluxo de carros e pessoas na cidade. A capital está situada no estado de Santa Catarina, no sul do Brasil. Esta cidade abrange a ilha principal, chamada Ilha de Santa Catarina, bem como uma porção continental e algumas ilhas menores ao redor. Com uma população estimada em 537.213 habitantes em 2022, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Florianópolis é o segundo município mais populoso do estado, ficando atrás apenas de Joinville, e ocupa a 39ª posição no ranking das cidades mais populosas do Brasil. Além disso, a cidade é famosa por oferecer uma elevada qualidade de vida, sendo a capital brasileira com a maior pontuação no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) calculado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). A Figura 1 mostra a localização geográfica da cidade de Florianópolis em Santa Catarina.



FIGURA 1 - MAPA DE FLORIANÓPOLIS, FONTE IBGE (2023)

Rodrigues (2021) relata os desafios do transporte urbano e aponta uma das principais causas de trânsito na cidade em pauta:

“A produção e a atração por município é um dado interessante para entender o grande fluxo de pessoas que diariamente vem a Florianópolis para trabalhar, já que na cidade há uma maior atração de trabalho do que há habitantes. Esse contexto é um reflexo de Florianópolis ter um acúmulo de empresas de

serviços e setores públicos, o turismo durante a temporada gera um excedente ainda maior ao montante.”(RODRIGUES, 2021).

Com base nos fatos expostos, mostra-se essencial analisar e regulamentar os níveis de ruído sonoro em cada área da região metropolitana para ter-se um parâmetro base. Com o avanço tecnológico, torna-se possível facilitar esses processos, antes repetitivos e trabalhosos, agora automatizados com mecanismos de fácil uso e entendimento. Apesar disso, atualmente, há poucos *softwares* no mercado que reúnem múltiplos modelos analíticos de poluição sonora das vias de fluxo de veículos, disponíveis na literatura da área para aplicação preditiva.

B. Justificativa

Com o aumento do fluxo de carros e pessoas na cidade, há um considerável aumento nos níveis de ruído produzidos. Essa elevação pode resultar em uma piora na qualidade de vida dos cidadãos e causar problemas de saúde a longo prazo. Um dos meios existentes para controle de poluição sonora é a regulamentação acerca dos níveis permitidos de intensidade de sua emissão em áreas urbanas. Por exemplo, em Florianópolis, a Lei Complementar CMF Nº 003/99 é uma iniciativa governamental para controlar o ruído baseada no estabelecimento de um nível sonoro limite de acordo com as normas brasileiras, embora não seja específica para o ruído rodoviário (FLORIANÓPOLIS, 1999). Não obstante, também faz-se necessário o controle e aplicabilidade da lei. Com tal propósito, a análise estatística e a fiscalização periódica da produção de ruído sonoro em vias públicas efetuará a execução da lei vigente. Essa análise estatística é realizada com base em dados coletados, incluindo níveis de pressão sonora, quantidade de veículos, distância, velocidade, entre outros. Dispondo desses dados, são realizados cálculos para obter o Nível de Ruído Contínuo Equivalente (Leq) e outros índices estatísticos como L10, L50 e L90. O problema se apresenta exatamente nesta etapa. A aplicação das normas limites para a produção de ruído precisa ser realizada com base nos dados de nível de pressão sonora sendo emitidos em um certo local. No entanto, adquirir equipamentos para realizar medições com precisão (Figura 2) – por exemplo, medidores de nível de som 2270 da Bruel e Kjaer, e obter tais dados pode se provar difícil de adquirir e utilizar para aqueles com pouco conhecimento na área.



FIGURA 2 - APARELHO 2270, FONTE: BRUEL E KJAER (2023)

Como uma alternativa para a utilização de equipamentos de escala profissional, há modelos analíticos que possibilitam a determinação de níveis de pressão sonora a partir de parâmetros da via, como a quantidade de carros, velocidade média e porcentagem de veículos pesados. Estes modelos envolvem a aplicação de modelos analíticos altamente específicos. Tal esforço pode ser potencializado pela falta de compreensão dos modelos, falta de acesso à informação, barreiras linguísticas para com alguns dos artigos de referência, ou até mesmo erro humano na aplicação das fórmulas.

O resultado do presente estudo é a criação de um *software* de código aberto e gratuito que reúne oito dos modelos utilizados no campo de medição de ruído rodoviário, como apresentado por (QUARTIERI, 2009) e (BIFF, 2017). A reunião dos modelos em apenas uma fonte que realiza os cálculos automaticamente com base nos parâmetros informados promove a facilitação de sua aplicação, consequentemente auxiliando autoridades locais a aplicar medidas de saúde pública relacionadas ao ruído rodoviário.

C. Revisão Bibliográfica

A acústica como a ciência que se dedica à investigação da geração, propagação e efeitos do som (BISTAFA, 2011). O som, por sua vez, é uma manifestação de ondas mecânicas que se propagam por meio de um suporte físico, podendo ser este gasoso ou líquido. É importante destacar que as características do meio físico afetam significativamente a intensidade e a pressão sonora associadas ao som propagado.

Particularmente, nos ambientes urbanos, o som é amplamente influenciado pelo meio sólido, como é o caso de estradas e ruas. Nessas localidades, a pressão sonora tende a ser substancialmente maior quando comparada com o meio gasoso ou líquido (BISTAFA, 2011). Essa particularidade assume relevância notória quando se aborda a questão do ruído rodoviário, que é um fenômeno intrínseco à circulação de veículos em vias públicas urbanas. A elevada pressão sonora decorrente do tráfego veicular nesses ambientes urbanos tem repercussões diretas no limiar de audição humana e, portanto, nos níveis de ruído percebidos pela população residente. Estudioso dos efeitos da poluição sonora na saúde humana, o pesquisador do Instituto Karolinska, da Suécia, (PYKO, 2018), concluiu alguns levantamentos que acabaram por servir de base às recomendações da Organização Mundial de Saúde – OMS. Ele identificou uma relação entre a exposição ao ruído de trânsito e a obesidade, mas ainda sem nenhuma prova definitiva. “O ruído do trânsito pode influenciar funções cardiovasculares e metabólicas por meio de distúrbios do sono e estresse crônico. O sono é um importante moderador da liberação de hormônios, da regulação de açúcares e de funções cardiovasculares. Distúrbios do sono podem afetar as funções imunológicas, influenciar o controle central do apetite e o gasto de energia, bem como aumentar os níveis do hormônio de estresse”.

O ruído rodoviário é uma das principais fontes de poluição sonora urbana. É gerado pelo atrito dos pneus com o

pavimento, pelo motor dos veículos e pelos componentes mecânicos. Esse tipo de ruído é caracterizado por sua intensidade, frequência e duração. A intensidade do ruído é medida em decibéis (dB), e é um indicador da potência da onda sonora (BISTAFA, 2011). De acordo com a OMS, qualquer som que ultrapasse o valor de 50 decibéis pode ser considerado nocivo à saúde. O ruído rodoviário pode atingir níveis de até 100 dB em dias de alto tráfego de carros, como no caso de cidades grandes como Florianópolis.

A frequência do ruído é medida em hertz (Hz) e é um indicador da altura do som. A duração do ruído é medida em segundos e é um indicador do tempo que o som está presente. É relevante destacar os parâmetros fundamentais para a avaliação de níveis de som e ruído. Já o NPS (Nível de Pressão Sonora) é a medida primordial que quantifica a intensidade do som em um dado local. Sendo assim, para uma análise mais abrangente, são utilizados conceitos como o Leq (Nível Médio Equivalente), que representa a média contínua do NPS ao longo de um período de tempo. Além disso, são empregados os percentis L10, L50 e L90, que denotam os níveis de ruído superados apenas por 10%, 50% e 90% do tempo, respectivamente. Esses parâmetros desempenham um papel essencial na caracterização da variação do ruído em um ambiente e na avaliação da exposição sonora ao longo do tempo (BISTAFA, 2011).

A chamada Lei de Fechner-Weber descreve a sensação humana a estímulos físicos. Ernst Heinrich Weber (1795-1878), foi um dos pioneiros a estudar quantitativamente a respostas humanas a estímulos físicos. Em um dos seus experimentos, Weber descobriu que a relação entre o estímulo e a sensação é logarítmica, conforme demonstra a Equação 1, onde E_0 é o valor mínimo do estímulo (inicialmente em kg) abaixo do qual não há sensação.

Equação (1)

$$S = k \cdot \log \frac{E}{E_0}$$

Isso significa que, para provocar variações de sensação em progressão aritmética, o estímulo deve variar em progressão geométrica. Portanto, a Equação 1 vale para estímulos como a sensação sonora.

A escala de decibéis (dB) é uma medida logarítmica que quantifica a intensidade do som. No entanto, a percepção do som não é linear em relação a essa escala. Em termos práticos, isso significa que um aumento de 10 dB em um som não é percebido como um aumento equivalente na intensidade sonora, mas sim como uma diferença substancial.

A alteração da pressão do ar relativamente ao valor médio da pressão atmosférica, quando comparada com um valor de referência, dá-se o nome de nível de pressão sonora (Lp). O ouvido humano não responde de maneira igual a todos os níveis de pressão sonora; em vez disso, ele exibe uma sensibilidade diferenciada com uma gama de pressões sonoras

muito alargada (amplitudes entre o limiar da audição e o limiar da dor, conforme ilustrado na Figura 3, sendo por isso complexo obter uma escala linear (IA, 2004). Por essa razão estabeleceu-se uma relação logarítmica, obtendo uma variação audível pelo ser humano entre 0 e 120, expressas em decibel (CARVALHO & ROCHA, 2008).

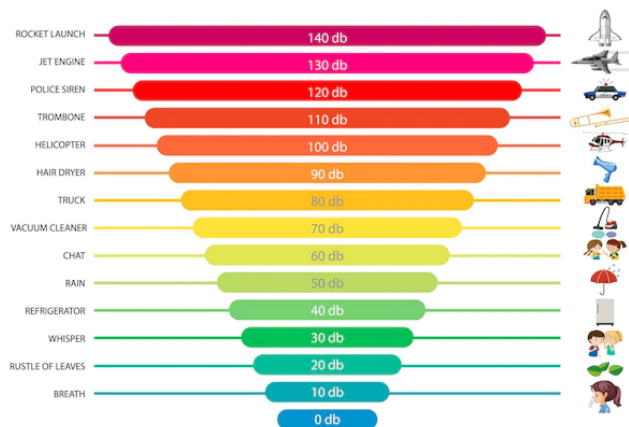


FIGURA 3 - ESCALA DE DECIBEL, FONTE: ADOBE STOCK, 2023.

II. OBJETIVO E QUESTÃO PROBLEMA

A. Objetivo Geral

Desenvolver um *software* destinado a automatizar a aplicação de modelos analíticos na avaliação de níveis de pressão sonora provenientes das rodovias, com o propósito de facilitar o levantamento de dados e, por conseguinte, promover a conscientização da população, bem como ampliar o acesso simplificado ao cálculo dos modelos matemáticos para controle do ruído proveniente do tráfego das estradas.

B. Objetivos Específicos

- 1) Implementar com auxílio de ferramentas computacionais e linguagem de programação (em específico uma aplicação Web) modelos analíticos de avaliação dos níveis de ruído rodoviário.
- 2) Disponibilizar uma plataforma de fácil acesso e gratuita acerca dos conceitos e modelos de Acústica e Ruído Ambiental, visando o bem-estar geral por meio do estudo de soluções para controlar a poluição sonora.
- 3) Validar medições manuais ou automatizadas de contagem de veículos e níveis de pressão sonora por meio da plataforma desenvolvida.

C. Questão Problema

Como criar uma plataforma web capaz de automatizar a aplicação de modelos analíticos para avaliação do ruído,

simplificando a coleta de dados e promovendo a conscientização pública, além de fornecer acesso facilitado aos cálculos dos modelos matemáticos para o controle do ruído proveniente das rodovias? Além disso, como disponibilizar informações sobre Acústica e Ruído Ambiental de forma acessível e gratuita, contribuindo para o bem-estar geral ao explorar soluções para a poluição sonora?

III. DESCRIÇÃO DE MATERIAIS E MÉTODOS

A. Etapa Criativa Do Design

No estágio inicial, foi conduzida a elaboração do design das telas do *software* com o auxílio da plataforma *Figma*. Durante esse processo, várias alternativas foram concebidas e avaliadas, levando em consideração tanto a estética quanto a funcionalidade. A organização das telas foi debatida, priorizando a harmonização com a identidade visual desenvolvida. O protótipo final foi escolhido por sua simplicidade, praticidade e, especialmente, por sua potencial capacidade de atrair os usuários, conforme exemplificado na Figura 4.



FIGURA 4 - TELA INICIAL, FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

B. Ferramentas

Após a etapa criativa do design e discussões sobre a funcionalidade, foi necessário escolher as ferramentas que seriam utilizadas no desenvolvimento da plataforma online. A linguagem de programação escolhida foi *JavaScript*, sendo ela uma linguagem de programação de alto nível, interpretada, de propósito geral e orientada a objetos. Conhecida como uma das linguagens mais usadas no mundo, é utilizada em uma ampla variedade de aplicações, incluindo sites, aplicativos móveis e jogos. Mais informações sobre a linguagem podem ser encontradas na documentação oficial no site da *Mozilla Developer Network* (MDN):

“O padrão JavaScript é ECMAScript. Desde 2012, todos os navegadores modernos possuem suporte total ao ECMAScript 5.1. Navegadores mais antigos suportam pelo menos ECMAScript 3. Em 17 de Junho de 2015, a ECMA International publicou a

sexta versão do ECMAScript, que é oficialmente chamado de ECMAScript 2015, e foi inicialmente conhecido como ECMAScript 6 ou ES6. Desde então, as especificações do ECMAScript são lançadas anualmente. Essa documentação faz referência à última versão de referência, que atualmente é a ECMAScript 2018.”

Um *framework*, no contexto do desenvolvimento de *software* e *web*, é um conjunto de estruturas, bibliotecas e diretrizes que fornecem um ambiente pré-estruturado e padronizado para criar aplicativos. Ele oferece um conjunto de ferramentas e abstrações que ajudam os desenvolvedores a criar e implementar aplicativos de forma mais eficiente e consistente. Um dos seus principais objetivos é facilitar o desenvolvimento, economizando tempo e minimizando a necessidade de escrever código personalizado.

O *framework* para desenvolvimento *web* de sites escolhido foi *React*, que é uma ferramenta de código aberto amplamente utilizada para construir interfaces de usuário interativas e dinâmicas. Ele é baseado no conceito de componentes, que são blocos de construção reutilizáveis que podem ser combinados para criar interfaces complexas. A decisão de utilizar o *React Next.js* ocorreu em razão da facilidade de uso e à existência de ferramentas para a manipulação dinâmica de componentes. O *Next.js* é um *framework* baseado no *React* que fornece uma série de recursos adicionais, como suporte a *servidor-side rendering*, que melhora o desempenho e a SEO (*Search Engine Optimization*) da plataforma. Segundo a documentação oficial do *Next.js*, ele é definido como uma estrutura *React* para construir aplicativos *web full-stack* (tanto o lado do cliente quanto o lado do servidor). São utilizados componentes *React* para construir interfaces de usuário e *Next.js* para recursos e otimizações adicionais (Vercel, 2023). Para controle de versão e ferramentas colaborativas, foi utilizado o *GitHub*, uma plataforma de hospedagem de código para controle de versão que permite aos desenvolvedores compartilharem seu código, colaborando em projetos de forma remota. Um repositório geralmente é usado para organizar um único projeto. Os repositórios podem conter pastas e arquivos, imagens, vídeos, planilhas e conjuntos de dados. Geralmente, os repositórios incluem um arquivo *README* (um arquivo com informações sobre seu projeto). Os arquivos *README* são escritos na linguagem *Markdown* em texto sem formatação (GitHub, 2023).

Como ambiente de desenvolvimento, foi utilizado o *Visual Studio Code*, que é um editor de código-fonte gratuito e de código aberto desenvolvido pela Microsoft. O *Visual Studio Code* é uma ferramenta versátil e poderosa que pode ser utilizada para o desenvolvimento de uma ampla variedade de aplicações. A documentação do *framework React* foi consultada para possibilitar o início do desenvolvimento e a criação de um repositório no *GitHub*.

C. Processo de Desenvolvimento do Software

Além das ferramentas mencionadas anteriormente, foram utilizados *Hooks* do React para controlar o estado do parâmetro na calculadora. De acordo com a documentação oficial, o “*State*” permite que um componente “lembre” informações como a entrada do usuário. Por exemplo, um componente de formulário pode usar o estado para armazenar o valor de entrada, enquanto um componente de seleção pode usar o estado para armazenar a opção selecionada. Para adicionar estado a um componente e atualizá-lo, é usado os *Hooks*:

- 1) ***useState***: declara uma variável de estado que você pode atualizar diretamente.
- 2) ***useEffect***: permite que você execute efeitos secundários em componentes funcionais.

Isso permite que o usuário altere o valor do parâmetro em tempo real, o que torna a plataforma mais dinâmica e prática. A partir desta tecnologia, foi utilizada uma função que permite ao desenvolvedor armazenar e gerenciar o estado de um componente React. O estado é uma propriedade de um componente que pode ser alterada ao longo do tempo. No caso da calculadora, o estado é utilizado para armazenar o valor do parâmetro. Quando o usuário altera o valor do parâmetro, o *hook* atualiza o estado e o resultado do cálculo é alterado em tempo real. Essa funcionalidade permite que o usuário experimente diferentes valores para o parâmetro e veja o resultado do cálculo instantaneamente. Isso torna a plataforma mais intuitiva e fácil de usar (React, 2023).

Para a criação e visualização dos capítulos na seção da Biblioteca Virtual, foi usado um *Hook* do *Next.js* chamado “*useParams*” que permite ler os parâmetros dinâmicos de uma rota preenchidos pela URL (*Uniform Resource Locator*) atual. Isso significa que, ao clicar em um capítulo, o valor do parâmetro *id* é passado para um componente por meio da URL. O componente então usa o “*useParams*” para recuperar o valor do parâmetro *id* e usá-lo para encontrar o capítulo correspondente no banco de dados. O uso do “*useParams*” torna o código mais conciso e fácil de manter. Além disso, o *hook* permite que o componente seja reutilizado para renderizar qualquer capítulo da biblioteca virtual, independentemente do seu ID (Vercel, 2023).

D. Criação da Biblioteca Virtual

Na etapa de produção do conteúdo expositivo da plataforma web, uma cuidadosa seleção dos tópicos e conceitos fundamentais foi realizada para a construção da seção de acervo (Figura 5). Esse processo envolveu a identificação dos principais temas que seriam essenciais para que os usuários compreendessem, de forma abrangente, os princípios da acústica e do ruído. Os capítulos foram escolhidos em uma ordem crescente de complexidade, levando em consideração uma progressão lógica e didática. Segue uma explicação mais detalhada sobre cada capítulo:

- 1) ***Som e Ruído***: Este capítulo introduz os conceitos

básicos de som e ruído, diferenciando-os e fornecendo uma visão geral do que será abordado na sequência.

- 2) ***Natureza do Som***: São exploradas as características intrínsecas do som, como sua natureza vibratória e as propriedades físicas das ondas sonoras.
- 3) ***Onda sonora Plana***: Este tópico aprofunda-se nas características das ondas sonoras planas, explicando seu comportamento e como são produzidas.
- 4) ***Onda sonora Esférica***: Neste ponto, a discussão se expande para incluir ondas sonoras esféricas, que desempenham um papel fundamental na propagação do som em ambientes abertos.
- 5) ***Forma da Onda***: Aqui, é explicitada a forma das ondas sonoras, incluindo aspectos como frequência, amplitude e fase, que são cruciais para a caracterização do som.
- 6) ***Impedância característica***: Este capítulo aborda a impedância característica, que está relacionada à resistência ao fluxo de energia das ondas sonoras em diferentes meios.
- 7) ***Intensidade Sonora***: Explora-se a intensidade sonora, uma medida importante para quantificar a energia transportada pelo som e sua influência na percepção auditiva.
- 8) ***Potência Sonora***: Por fim, o capítulo sobre potência sonora examina como a energia sonora é produzida, transmitida e consumida, com ênfase na sua aplicação prática em acústica.

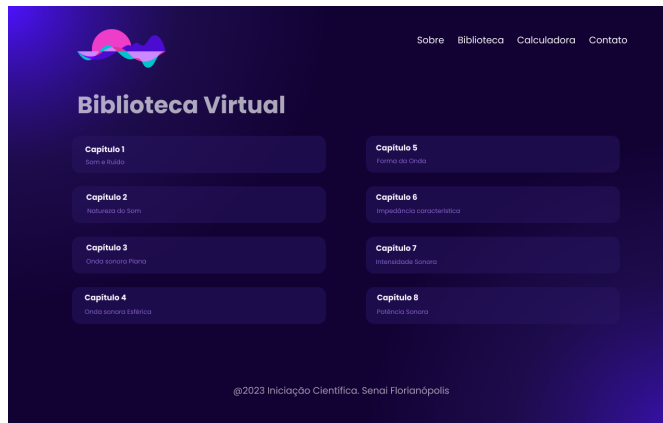


FIGURA 5 - TELA DA BIBLIOTECA, FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

Na etapa subsequente, no processo de desenvolvimento dos capítulos, foi incorporada uma página ao *website* na qual foram disponibilizados os diversos capítulos da biblioteca virtual (Figura 6). Essa biblioteca virtual aborda conceitos basilares da acústica e do ruído.

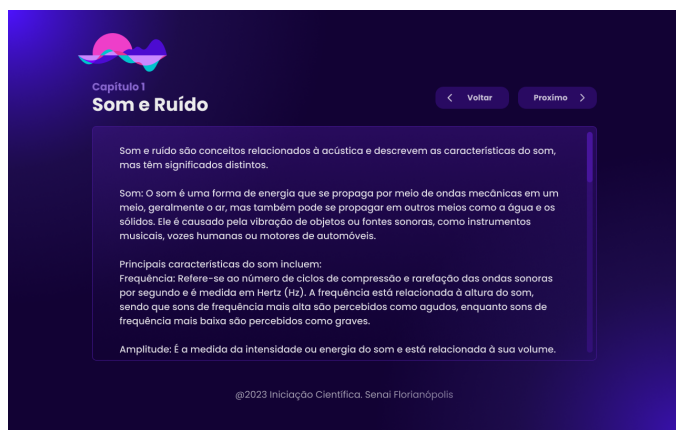


FIGURA 6 - TELA DO CAPÍTULO 1, FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

A criação dessa biblioteca virtual visa proporcionar aos usuários um recurso educacional abrangente e acessível, facilitando a compreensão dos princípios acústicos essenciais. Os conceitos apresentados na biblioteca virtual, desde "Som e Ruído" até "Potência Sonora" desempenham um papel fundamental na compreensão da acústica e na avaliação do impacto do ruído em diferentes contextos. Através desses capítulos, os usuários podem explorar tópicos como a natureza das ondas sonoras, a diferença entre ondas planas e esféricas, as características da forma da onda e a importância da intensidade sonora e potência sonora na análise acústica.

E. Lógica e Seleção dos Modelos Matemáticos

A lógica é a estrutura do programa que processa os dados fornecidos pelo usuário e mostra o resultado após as modificações desejadas. É nesta etapa que se realiza a aplicação dos modelos matemáticos. Como referências para a seleção dos modelos mais aplicáveis no *software*, foram utilizados os trabalhos de (BIFF, 2017) e (QUARTIERI *et. al*, 2009), por detalhar a utilização dos modelos analíticos mais relevantes na área de ruído rodoviário. Os modelos matemáticos são criados com foco principalmente no estudo do tráfego, abrangendo tanto veículos de menor porte quanto veículos pesados. Eles também consideram as características da superfície da estrada e a distância entre os pontos de transporte e os locais onde o som é percebido. É importante notar que, uma vez que esses modelos foram desenvolvidos em várias partes do mundo, existem diferenças significativas devido a particularidades locais, como as características das estradas e os tipos de veículos utilizados.

Os modelos selecionados para implementação no programa foram:

- 1) *HANC - Handbook of Acoustic Noise Control (1952)*
- 2) *Griffiths and Langdon Method (1968)*
- 3) *Johnson e Saunders (1968)*
- 4) *Galloway et al. (1969)*
- 5) *CSTB - Centre Scientifique et Technique du Batiment (1991)*
- 6) *Burguess (1977)*
- 7) *Johnson e Saunders (1968)*
- 8) *Bolt, Beranek e Newman (1952)*

O modelo matemático desenvolvido por Bolt, Beranek e Newman, demonstrado na Equação 2, foi o primeiro modelo matemático desenvolvido para predição do nível de pressão sonora, expresso em L_{50} , onde sua aplicabilidade era sugerida para velocidades entre 35 e 45 mph (aproximadamente 50 a 70 km/h) e para distâncias de 6 a 9 m do centro da via até o receptor (aparelho de medição). O percentil 50 era dado por: (SOARES, 2012).

Equação (2)

$$L_{50} = 68 + \log(Q) - 20.\log(D)$$

Onde Q é volume de tráfego (veículos/h) e D se refere à distância entre o centro da via ao receptor. (ALENCAR, 2016) e (QUARTIERI *et. al*, 2009) recordam que o modelo não leva em consideração os percentuais dos tipos de veículos e do tipo de pavimento utilizado. Na lógica adotada para a realização dos cálculos no *software* foi estabelecida uma correspondência direta entre as variáveis matemáticas e as variáveis no código, identificadas como "param_1" até "param_4". Os parâmetros de distância e velocidade (2 e 3, respectivamente) são medidos na fórmula originalmente em pés e milhas. Para uma facilitação maior na parte do usuário em fornecer os dados necessários, foram feitas conversões das medidas para metros e quilômetros, sendo:

- 1) *De metros para pés, multiplicou-se o valor do comprimento por 3,281.*
- 2) *De quilômetros para milhas, dividiu-se o valor de comprimento por 1,609.*

A partir dessa tradução, as variáveis são manipuladas de acordo com o modelo selecionado pelo usuário. Isso é alcançado por meio de uma estrutura de decisão *if-else*, que permite determinar qual modelo será utilizado e, posteriormente, executar o cálculo correspondente. Por exemplo, a função "calcHanc" representa um desses modelos matemáticos e, se selecionada, irá realizar o cálculo definido à ela. Através deste processo, o *software* oferece uma abordagem versátil para análise, permitindo que o usuário escolha o modelo mais apropriado às suas necessidades específicas. Essa flexibilidade é fundamental para atender a uma variedade de situações e cenários.

IV. RESULTADOS E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Esta seção é dedicada a demonstrar o produto do processo de desenvolvimento do *software* por meio de captura de tela da interface calculadora (figura 7) e comprovar sua precisão através da comparação com os resultados obtidos em outros programas de cálculo, e medições de ruído realizadas em campo.

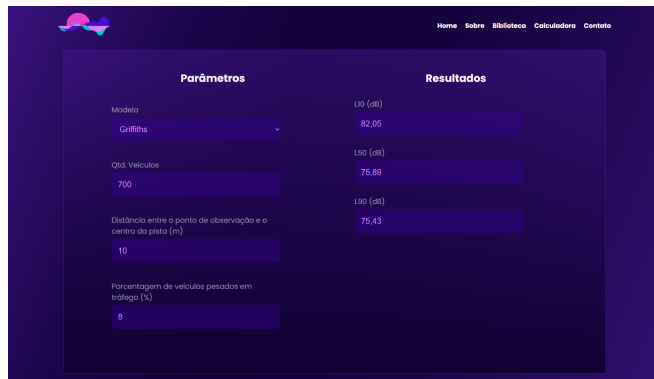


FIGURA 7 - TELA DA CALCULADORA, FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

Para a validação dos dados do sistema foi utilizada a calculadora *web* Wolfram Alpha. Tanto o programa quanto a calculadora possuem os mesmos dados de entrada e a saída de cada modelo será então comparada, conforme evidencia a Tabela 1. Os dados utilizados foram os seguintes:

- 1) $Q = 3000$ veículos
- 2) $d = 30$ pés
- 3) $v = 60$ mph
- 4) $P = 15\%$
- 5) $L = 10$ metros

Para a divisão de tipos de veículos no modelo (FAGOTTI et. al, 1995) os valores de cada tipo serão:

- 1) $Q_L = 1500$
- 2) $Q_M = 600$
- 3) $Q_P = 450$
- 4) $Q_BUS = 450$

TABELA 1 - COMPARAÇÃO DE RESULTADOS ENTRE O WEBSITE E O SOFTWARE WOLFRAM ALPHA

Modelo	Resultados Website	Resultados Wolfram Alpha
HANC	L50 = 68,03 dB	L50 = 68,03 dB
Johnson	L50 = 172,38 dB	L50 = 172,38 dB
Galloway	L50 = 147,99 dB	L50 = 147,99 dB
Burgess	L50 = 71,56 dB	L50 = 71,56 dB
Griffiths	Leq = 90,06 dB	Leq = 90,06 dB
	L10 = 98,63 dB	L10 = 98,63 dB
	L50 = 89,16 dB	L50 = 89,16 dB
	L90 = 91,54 dB	L90 = 91,54 dB
Fagotti	Leq = 140,71 dB	Leq = 140,71 dB

Bolt	L50 = 83,03 dB	L50 = 83,03 dB
CSTB	Leq = 111,13 dB	Leq = 111,13 dB
	L50 = 126,67 dB	L50 = 126,67 dB

Como evidenciado na Tabela 1, os resultados obtidos através do website e do *software* de cálculo são consistentes para todos os modelos avaliados. Isso confirma a precisão e confiabilidade do sistema desenvolvido na reprodução dos cálculos realizados pela calculadora *web* Wolfram Alpha. A congruência entre os resultados valida a integridade das fórmulas matemáticas implementadas no sistema e a correta tradução das variáveis de entrada, proporcionando uma ferramenta eficaz e confiável para a análise de ruído rodoviário. Essa validação é essencial para assegurar a utilidade prática do *website* em aplicações do mundo real, permitindo uma avaliação precisa e consistente do impacto do ruído nas áreas urbanas.

Em adição à pesquisa, foram realizadas medições externas na principal via da cidade. As medições foram realizadas utilizando o analisador de sinais apresentado na Figura 2 para comparar os resultados com a calculadora *Web* e poder analisar as limitações dos modelos matemáticos. O modelo escolhido para comparação foi o modelo (GRIFFITHS, 1968) devido a sua variedade de métricas disponíveis (L10, L50 e L90). Considerando que a medição ocorreu em uma pista com 3 faixas, em uma rodovia de pista dupla e durante um período de meia hora, os parâmetros da medição foram os seguintes:

- 1) *Distância entre o ponto de observação e o centro da pista: 10 metros.*
- 2) *Quantidade de veículos: 700 veículos.*
- 3) *Porcentagem de veículos pesados em tráfego: 8.86%.*

Com base nos dados resultantes da medição em campo na tabela 2, podemos fazer uma comparação entre os resultados e analisar as diferenças.

TABELA 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS MEDIÇÕES DE NPS EXTERNAS E O MODELO GRIFFITHS

Métricas	Medições externas	Modelo matemático
L10,0	77,51	82,05
L50,0	72,65	75,89
L90,0	61,06	75,43

Os níveis de L10, L50 e L90 são indicativos dos níveis de ruído que servem de base para avaliar os impactos sonoros em ambientes urbanos e rodoviários. A diferença entre os resultados obtidos nas medições externas e os valores previstos pelo modelo matemático (GRIFFITHS, 1968) permite tirar algumas conclusões importantes.

V. CONCLUSÕES

A. Objetivos Alcançados

Este estudo culminou no desenvolvimento de um *website* que incorpora com sucesso oito modelos analíticos funcionais, bem como telas de contextualização que podem ser

visualizadas nas Figuras 5 e 6. O objetivo central de criar uma ferramenta funcional capaz de processar os dados fornecidos pelo usuário e realizar cálculos em resposta a esses dados foi plenamente atingido. A utilidade dessa ferramenta facilitadora não se limita a um público restrito, mas, pelo contrário, tem um potencial de aplicação amplo e inclusivo. Ela está acessível a todos os profissionais que atuam na área de controle e análise de ruído em acústica, assim como àqueles que têm interesse em explorar seus recursos, tendo em mãos adicionalmente uma seção de aprendizado e base teórica no estudo da acústica. Os dados inferidos na ferramenta desenvolvida foram devidamente validados e testados por meio de métodos extra de verificação, como uso da calculadora WolframAlpha.

A precisão dos modelos matemáticos do *software* foi testada, tendo o modelo de referência (Griffiths, 1968) como base, por meio da comparação com medições reais externas. Observou-se uma notável disparidade nos níveis de decibéis registrados, sugerindo uma tendência de superestimação dos níveis de ruído pelo modelo matemático. Essa diferença pode ser atribuída a vários fatores inerentes a ambientes rodoviários complexos, tais como as condições da estrada, variações na densidade do tráfego e velocidade dos veículos.

Portanto, apesar do sucesso na criação da ferramenta analítica, é necessário reconhecer que as previsões dos modelos devem ser consideradas como uma referência inicial, a ser utilizada em conjunto com medidas efetivas para assegurar uma avaliação precisa. A combinação de abordagens analíticas e medições práticas fornece uma base mais sólida para a tomada de decisões relacionadas ao controle e mitigação do ruído em ambientes urbanos e rodoviários.

B. Comprovação da Hipótese

A problemática do ruído rodoviário, observada não apenas em Florianópolis, mas também em diversas outras regiões urbanas, pode ser significativamente amenizada por meio de estudos sistemáticos e análises periódicas dos níveis de ruído gerados nas vias públicas urbanas. Nesse contexto, a disponibilização do *website* de análise de ruído constitui uma contribuição relevante. A adoção de tecnologia e ferramentas computacionais demonstrou ser uma estratégia eficaz para a automatização de processos que, de outra forma, seriam realizados manualmente e estariam sujeitos a erros. Por meio do *software* desenvolvido, a automação de cálculos manuais está agora acessível ao público em geral, tornando mais fácil a análise de dados relacionados ao ruído rodoviário. Além disso, a promoção do conhecimento e da conscientização sobre as questões relacionadas ao ruído rodoviário será reforçada por meio da criação de uma biblioteca virtual. Esta biblioteca será uma valiosa fonte de recursos para pesquisadores, profissionais e estudantes interessados no tema, facilitando o acesso a informações atualizadas e estudos relevantes. Com isso, é esperado que o impacto positivo desta pesquisa se estenda além da mera aplicação prática e contribua para uma compreensão mais abrangente e aprofundada dos desafios enfrentados na gestão do ruído rodoviário.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISTAFÁ, S. R. *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2011.

BIFF, P. *Influência do Tráfego Veicular na Geração de Ruído em Praças Públicas de Florianópolis, SC. Trabalho de Conclusão de Curso*. Centro Universitário Estácio São José, Santa Catarina, 2017.

CARVALHO, A. P. O.; ROCHA, C. *Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído*. 2008.

FAGOTTI, A. Traffic Noise Abatement Strategies. The Analysis of Real Case not Really Effective, in Proc. of 18th International Congress for Noise Abatement, pp. 223-233, Bologna, Itália, 1995.

GitHub. Início Rápido. Disponível em: <https://docs.github.com/pt/get-started/quickstart/hello-world>. Acesso em: 09 out. 2023.

HARRIS, C. M. *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control*. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1998.

HUME, Kenneth I. et al. Effects of environmental noise on sleep. *Noise and health*, v. 14, n. 61, 2012.

IA - Instituto do Ambiente. *O ruído e a cidade*, 2004, traduzido e adaptado de: *Le Bruit et la Ville*, 1978, Ministère de l'Équipement et de l'Aménagement du Territoire Paris.

ISING, Hartmut et al. Health effects caused by noise: evidence in the literature from the past 25 years. *Noise and Health*, v. 6, n. 22, 2004.

JANSEN, Bernard J. The graphical user interface. *ACM SIGCHI Bulletin*, v. 30, n. 2, 1998. UFC, 2010.

MÜNZEL, Thomas et al. Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *European heart journal*, v. 35, n. 13, 2014.

Mozilla Developer Network (MDN). JavaScript. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript>. Acesso em: 09 out. 2023.

QUARTIEIRI, J.; MASTORAKIS, N. E.; IANNONE, G.; GUARNACCIA, CD'AMBRÓSIO, S.; Troisi, A. LENZA, T. L. L. A Review of Traffic Noise Predictive Models. In *Proceedings of the 5th WSEAS International Conference on Applied and Theoretical Mechanics*, Puerto De La Cruz – Tenerife – Canary Islands - Spain, p. 72-80, 2009.

RAWASHDEH, A.; LI, Z. Spectral and Statistical Analyses of Traffic Noise. In *Proceeding of the 27th International*

Congress of Sound and Vibration - ICSV27, Auburn University, Wiggins Hall, Auburn, AL, USA.

RODRIGUES, A. V. As Oportunidades para Melhoria da Mobilidade Urbana de Florianópolis. Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/20179>. Acesso em: 09 out. 2023.

Vercel. What is Next.js?. Disponível em: <https://nextjs.org/docs>. Acesso em: 09 out. 2023.

WENTZEL, M. Como a poluição sonora influencia até na obesidade, 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-46040219>.