

Monitoramento da Poluição Sonora em Belo Horizonte utilizando Redes de Sensoriamento Participativo

Igor Sabarense Coelho Silva, Felipe Cunha

¹ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG)
Belo Horizonte – MG – Brazil

igor.sabarense@gmail.com, felipe@pucminas.br

Abstract. *The noise pollution originates from human activity, primarily in urban areas, where the concentration of vehicles and industries is typical. Although the urban population is the most affected, the rural area can not be excluded. Noise pollution is a problem that causes much more than hearing loss. It can also cause memory loss, hypertension, sleep disruption, and even affect cognitive development in children. With that in mind, the following work aims to collect Belo Horizonte's population data regarding noise pollution. The data gathered will be provided with the aid of the city's citizens using a Crowdsourcing approach. This approach uses a Telegram resource named Chatbot, which will receive the geolocation and an audio message portraying the environment's noise. It will send that data to a server to be processed, thus, creating a database of noise pollution in the city. With the city's database created, after gathering enough data, it will be possible to explore which areas are the most affected in a heat map. Since the application won't have any financial cost for the city hall, its data will open a path for the city hall to act and invest resources to solve this crisis much more efficiently.*

Resumo. *A poluição sonora se origina da atividade humana, em sua maior parte, de áreas urbanas, onde a concentração de veículos e centros industriais são comuns. Apesar destes grandes centros urbanos serem os mais afetados pela poluição sonora, as áreas rurais não podem ser excluídas. A poluição sonora é um problema que implica em muito mais do que a perda auditiva, ela também pode causar perda de memória, hipertensão, perturbação do sono e até mesmo pode afetar o desenvolvimento cognitivo em crianças. Tendo isto em mente, o trabalho tem como objetivo coletar dados da população de Belo Horizonte em relação a poluição. Os dados coletados serão fornecidos com a ajuda dos cidadãos utilizando uma abordagem de Crowdsourcing. Ela consiste em usar um recurso do **Telegram** chamado de Chatbot, que irá receber a geolocalização e uma mensagem de áudio que representa o ruído do ambiente. O chatbot enviará os dados para um servidor que possa processá-los e assim, criará um banco de dados de poluição sonora na cidade. Após criado o banco, e a massa de dados coletados tiveram uma certa expressividade, será possível explorar em um mapa de calor as áreas mais afetadas. Uma vez que a aplicação não terá qualquer custo financeiro para a prefeitura da cidade, com seus dados, será possível abrir um caminho para que a prefeitura invista recursos de forma mais eficiente para solucionar esse problema.*

1. Introdução

A audição é um sentido extremamente importante tanto para os humanos quanto para os animais, pois através dela conseguimos encontrar alimento, determinar a direção de um som, nos comunicar e identificar ameaças, já que no ambiente selvagem, até o farfalhar das folhas pode significar um perigo iminente. Uma audição comprometida pode colocar em risco a vida do indivíduo, já que sinais de alertas podem passar de forma despercebida, trazendo consigo um grande risco. A poluição sonora exaspera esse risco, já que além de comprometer nossa audição, ela traz para os humanos complicações não só físicas como psíquicas.

A poluição sonora se caracteriza por um excesso de ruídos que afeta a saúde física e mental da população. É o alto nível de decibéis provocado pelo barulho constante proveniente de atividades que perturbam o silêncio ambiental. Oriunda de atividades humanas, em sua maioria, é possível observar que sua maior concentração se encontra em grandes centros urbanos, onde é ordinário a concentração de veículos e centros industriais. Apesar destes grandes centros urbanos serem os mais afetados pela poluição sonora, as áreas rurais não podem ser vistas de forma excludente, já que também sofrem desse mesmo problema.

Além da perda auditiva, a poluição sonora é responsável por diversas adversidades na saúde humana e pode causar complicações em várias áreas diferentes. A partir de certos volumes, é possível causar problemas como Hipertensão, Perda de memória e interrupção do sono. Além de também atrapalhar o desenvolvimento cognitivo em crianças em períodos de curto e longo prazo [Moudon 2009, Stansfeld and Matheson 2003].

Apesar de ser de acordo com a OMS (Organização Mundial de Saúde) a segunda maior poluição ambiental, ficando atrás apenas da poluição do ar, a poluição sonora segue sendo negligenciada [Moszynski 2011]. Tendo em vista esse problema, na fase de conceituação desse projeto, foi possível perceber que os dados em relação à poluição sonora têm uma escassez considerável. Por esse motivo, o projeto visa criar uma base de dados, em especial para a cidade de Belo Horizonte, onde será possível mapear vários pontos da cidade, utilizando-se de um modelo de *CrowdSourcing* [Kanhare 2013].

O sensoriamento físico tem um custo alto, já que para ter uma maior precisão, são necessários vários aparelhos. Com o *CrowdSourcing* (produção e estruturação coletiva através de voluntários), será possível utilizar sensores virtuais, onde cada aparelho *smartphone* será um ponto de captação de dados, mitigando assim, o custo inicial alto que o governo teria com infraestrutura.

Esta primeira seção demonstra o objetivo do trabalho desenvolvido. A seção 2. Referencial teórico, demonstrará alguns dos principais artigos nos quais o projeto foi inspirado, ao final dessa seção, haverá um quadro comparativo com os pontos fortes de cada projeto que ali fora apresentado. A seção 3. Uma Aplicação de Sensoriamento Participativo: NP-Bot, será uma breve demonstração do funcionamento da aplicação, onde poderemos ver de forma simplificada os passos que levam a gerar dados importantes sobre poluição sonora. A forma como foi desenvolvido a aplicação será aprofundada na seção 4. Metodologia e Arquitetura, onde todos os itens utilizados na concepção desse projeto serão descritos. Nessa seção, será possível entender os pilares necessários para o desenvolvimento desse trabalho. A seção 5. Coleta de dados demonstrará como funciona

a coleta de dados como um todo, mesclando os itens das duas seções anteriores. Será demonstrado desde o início onde o voluntário envia sua primeira mensagem, até quando o sinal de áudio é processado e armazenado no banco de dados em nuvem. Os resultados e as conclusões serão as duas últimas seções, onde é possível ver a aplicabilidade do projeto, resultados parciais e os próximos passos.

2. Referencial Teórico

Em busca de referências sobre mapeamento de poluição sonora, analisando a proposta de mapeamento 3D na cidade de Curitiba, os autores trouxeram uma abordagem de mapeamento sonoro e virtualização para melhor visualização dos resultados. Utilizaram-se de um modelo simples para a captação de ruídos e seu processamento para sua proposta de mapeamento. A maneira de virtualização utilizando um modelo 3D, traz à proposta um entendimento maior acerca do problema de poluição, já que é possível ver o problema através da perspectiva de um pedestre, por exemplo [Miranda and Stadzisz 2018].

Já os autores do aplicativo NoiseMap, optaram por criar uma interface simples, onde o ruído é captado pelo microfone do voluntário junto a sua localização de acordo com o GPS do aparelho *smartphone*. Aqui vemos a proposta do *Crowdsourcing*, onde os autores contam com a ajuda de outras pessoas para popular os dados do aplicativo NoiseMap (o modelo participativo do *NP-Bot* nasceu aqui). Os resultados são processados e enviados a uma outra plataforma para melhor visualização do usuário, prezando sempre pela confidencialidade e segurança de seus dados [Schweizer et al. 2011].

Em busca de mais aplicativos que se basearam em CrowdSourcing, o NoiseSense foi um projeto que se destacou, a abordagem do sistema consiste em utilizar voluntários que possam se tornar pontos de captação de ruídos para popular a base de dados e criar um mapeamento da poluição sonora. Como é importante a participação dos voluntários, NoiseSense se preocupou bastante com a retenção desses usuários. Assim, surgiram com uma técnica de agrupamento para mitigar o custo computacional nos *smartphones*. Desta forma, apenas um *smartphone* é necessário para que dispositivos na mesma rede tenham sua localização identificada através deste *smartphone* líder, assim, minimizando o consumo de energia e tentando ao máximo reter usuários para que o projeto tenha uma base de dados consistente [Dutta et al. 2017].

Segundo Segura-Garcia, a poluição sonora não só afeta o bem estar dos adultos como também tem um efeito negativo na capacidade cognitiva das crianças. Devido a isso, os autores realizaram estudos com fim de identificar como a poluição sonora pode afetar as pessoas além do incômodo e perda auditiva. O artigo usa métricas psicoacústicas fornecidas pelo modelo de Zwicker. Para isso, foram utilizados particulas Tmote-Invent e o aparelho Raspberry Pi, onde o modelo faria uma medição de parâmetros como:

- *Nuisance (N)* - Incômodo
- *Loudness (L)* - Volume do ruído.
- *Sharpness (S)* - Nitidez do ruído.
- *Roughness (R)* - Aspereza do ruído.
- *Fluctuation Strength (F)* - Força de flutuação do ruído.

Após resultados, foi constatado pelos autores que uma solução barata de sensores virtuais seria a utilização do Raspberry Pi para esse tipo de medição. Já que

conseguem suportar o custo computacional requerido para esse tipo de medição custosa [Segura-Garcia et al. 2015].

Tendo em vista como a poluição sonora pode afetar os seres humanos de diferentes maneiras, o artigo de Moudon foi importante para aprofundar os reais riscos dessa poluição, onde foi mostrado que a saúde individual é definida como um estado em que o indivíduo se encontra com o bem-estar físico, emocional, social, espiritual e psicológico em sua totalidade. A mesma excluiu, até agora, a preocupação com a saúde sonora. Há muito se é sabido que a exposição contínua a níveis elevados de som leva a perda auditiva. O ruído é definido como um som indesejado que perturba a comunicação e interfere no sono e nas tarefas do dia a dia. Estudos apontam que devido a exposição contínua, ocorre-se vários desfechos psicofisiológicos, tais como:

- Aborrecimento
- Desempenho reduzido
- Comportamento agressivo
- Aumento no risco do infarto do miocárdio

O artigo demonstra a importância de uma intervenção em relação a poluição sonora, tanto no quesito ambiental quanto no quesito de saúde e bem estar humano. É enfatizado que esse é um problema recorrente e conhecido há várias décadas, porém pouco debatido em relação a outros tipos de poluição (atmosférica, hídrica) [Moudon 2009].

Para uma maior compreensão sobre os conceitos de cada trabalho aqui descrito, a tabela 1 apresenta um resumo dos referenciais teóricos, enfatizando as forças e vantagens de cada um.

Artigo	Ideia Principal	Vantagens	Desvantagens
Uma proposta para monitorar a poluição sonora através de smartphones e uma cidade virtual 3d	Proposta de sensor virtual com visualização em cidade 3D.	Fácil visualização das áreas mais afetadas em Curitiba. Baixo custo por ser um sensor virtual.	Apenas uma proposta, o serviço não foi implementado.
NoiseMap	Aplicativo mobile e plataforma web para coletar dados sobre poluição sonora.	Sensor virtual, baixo custo. Sistema web para visualização dos dados fornecidos pelos usuários.	A plataforma web se encontra inativa.
Low-Cost Alternatives For Urban Noise Nuisance Monitoring Using Wireless Sensor Networks	Mensurar níveis de incômodo utilizando sensores virtuais de baixo custo.	Sensor virtual de baixo custo. Mede não só a poluição sonora como também o nível de incômodo relativo.	O custo de processamento é alto, inviabilizando uma das alternativas do projeto (T-mote Invent).
Real Noise from the Urban Environment. How Ambient Community Noise Affects Health and What Can Be Done About It	Demonstrar como a poluição sonora afeta a saúde e o que pode ser feito quanto a isso.	Demonstra os malefícios da poluição sonora e propõe soluções para mitigar o problema.	.
NoiseSense: Crowdsourced Context Aware Sensing for Real time Noise Pollution Monitoring of the city	Utilizar o Crowdsourcing como estratégia para coletar dados sobre poluição sonora utilizando smartphones como sensores virtuais	Sensor virtual de baixo custo. Abordagem de grupos trás melhora na utilização de energia, restando mais usuários.	Seu smartphone será escolhido como líder do grupo em determinado período, tendo assim uma carga computacional maior nesse período.

Tabela 1. Quadro Comparativo do Referencial Teórico.

3. Uma Aplicação de Sensoriamento Participativo: NP-Bot

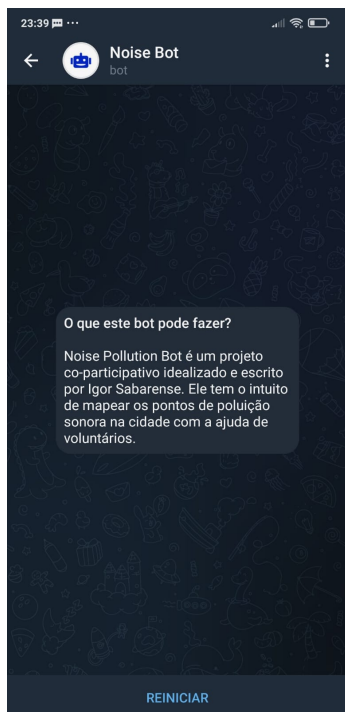


Figura 1 - Descrição

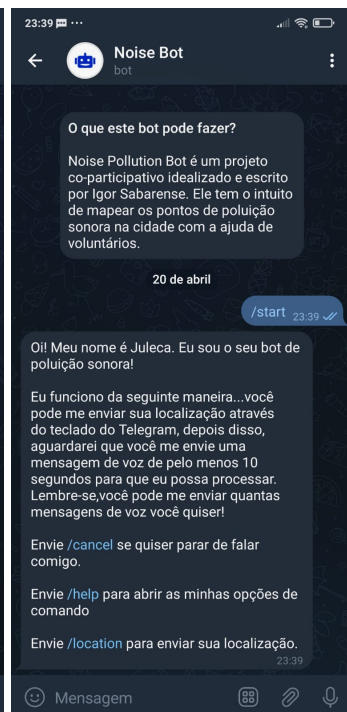


Figura 2 - Comando /start

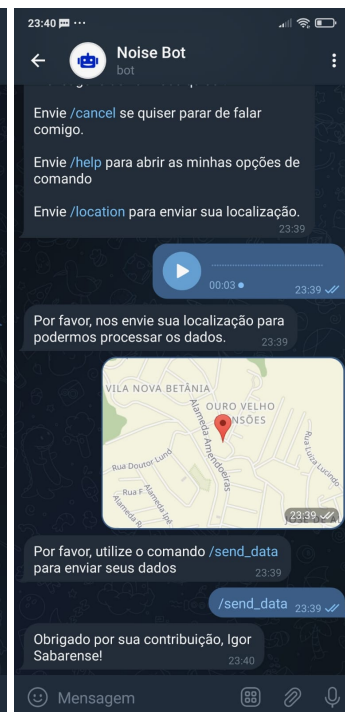


Figura 3 - Contribuição

O projeto Noise Pollution Bot (**NP-Bot**) consiste em um rede participativa criada com um *chatbot*. Utilizando o aplicativo do *Telegram*, como é possível observar na Figura 1, os usuários poderão contribuir em poucos passos e gerar dados importantes de poluição sonora, apenas compartilhando sua geolocalização e uma mensagem de voz, visto na Figura 2.

Um dos grandes desafios de se utilizar uma abordagem de *crowdsourcing* é, além da adesão ao projeto, uma forma de utilizar os recursos do *smartphone* do voluntário sem que o mesmo sofra um impacto na bateria de seu *smartphone* por estar colaborando com o projeto. O sistema de posicionamento global (GPS) é caro porque é um canal de comunicação muito lento - você precisa se comunicar com três ou quatro satélites por um período prolongado a 50 bits por segundo [Purdy 2013]. O projeto NP-Bot, na tentativa de mitigar os problemas com os recursos dos *smartphones*, optou por uma abordagem de envio ativo de dados nas quais o GPS será utilizado somente durante o envio da localização, mitigando assim o uso constante do sistema de localização e também do microfone do aparelho. O usuário irá participar ativamente do projeto, ele deverá enviar uma mensagem de voz e sua localização no instante para gerar os dados de acordo com o processamento do *chatbot*.

Conforme pode ser visto na Figura 3, por ser um envio ativo do usuário, o chatbot utilizará pouquíssimos recursos do *smartphone*, desse modo o usuário não precisa se preocupar com um consumo alto de bateria e poderá participar do projeto com uma maior autonomia.

4. Metodologia e Arquitetura

A fim de coletar os dados de intensidade sonora, o trabalho irá utilizar a abordagem de *Crowdsourcing* (modelo co-participativo, onde voluntários usam o sistema a fim de ajudar na coleta de dados). Neste contexto, será criado um *chatbot* que coleta os dados enviados pelo voluntário e envia uma mensagem de voz e sua geolocalização, que será considerada a partir da localização enviada via Telegram. Os dados serão processados e armazenados em um banco de dados inteiramente na nuvem. Para a realização destas etapas, o trabalho contará com o apoio das seguintes tecnologias:

- **Python3:** Python é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada de script, imperativa, orientada a objetos, funcional, de tipagem dinâmica e forte. Será utilizada como a base do projeto [Van Rossum and Drake 2009].
- **Telegram:** O Telegram é um serviço de mensagens instantâneas baseado na nuvem. O Telegram está disponível para smartphones ou tablets, computadores e também como Aplicação web. Os usuários podem fazer chamadas com vídeo, criar *Chat-Bots*, enviar mensagens e trocar fotos, vídeos, autocolantes e arquivos de qualquer tipo [Telegram Messenger, Inc. 2022].
- **Librosa:** É um pacote *Python* para análise de música e áudio. Ele fornece os blocos de construção necessários para criar sistemas de recuperação de informações musicais. O Librosa será utilizado para poder extrair informações dos dados coletados via Telegram [McFee et al. 2015].
- **Python-Telegram-Bot:** Um pacote de API's (*Application Programming Interface*) que facilitam a vida do desenvolvedor na hora de se comunicar com a rede do Telegram [Python Telegram Bot Community 2022].
- **MongoDb Atlas:** O MongoDB Atlas é um serviço de banco de dados multinuvem das mesmas pessoas que criam o MongoDB. O Atlas simplifica a implantação e o gerenciamento de bancos de dados. Essa plataforma será utilizada para guardar todos os dados coletados pelo voluntário [MongoDb, Inc. 2022].
- **Heroku:** Heroku é uma plataforma como serviço (PaaS) que permite aos desenvolvedores criar, executar e operar aplicativos inteiramente na nuvem [James Lindenbaum, Adam Wiggins, Orion Henry 2022].

Essas tecnologias são em sua maioria serviços gratuitos ou serviços que possuem modalidades gratuitas para um pequeno fluxo de dados. Para um contexto onde mais voluntários comecem a utilizar o aplicativo, por serem serviços na nuvem, são escaláveis, possibilitando assim uma transição controlada entre os modelos gratuitos e pagos.

5. Coleta de Dados

O *NP-Bot* é hospedado por uma plataforma em nuvem, chamada de **Heroku**. O serviço em nuvem do **Heroku** possibilita de forma gratuita obter uma aplicação escalável e tolerante a falhas, tornando o *chatbot* uma aplicação que está sempre disponível e pode ser utilizada a qualquer momento.

Para criar o **Noise Pollution Bot**, a **Python Telegram Bot API** foi vital para o processo de desenvolver um *chatbot*, essa ferramenta faz com que o desenvolvedor consiga de forma rápida e fácil criar uma integração com o aplicativo do **Telegram**, podendo em apenas poucas linhas de código criar um *chatbot* funcional. O fluxo de processamento demonstrado pela Figura 1 começa quando o usuário interage com o *chatbot*, fornecendo apenas dois dados, sendo eles: Mensagens de voz e localização GPS do usuário.

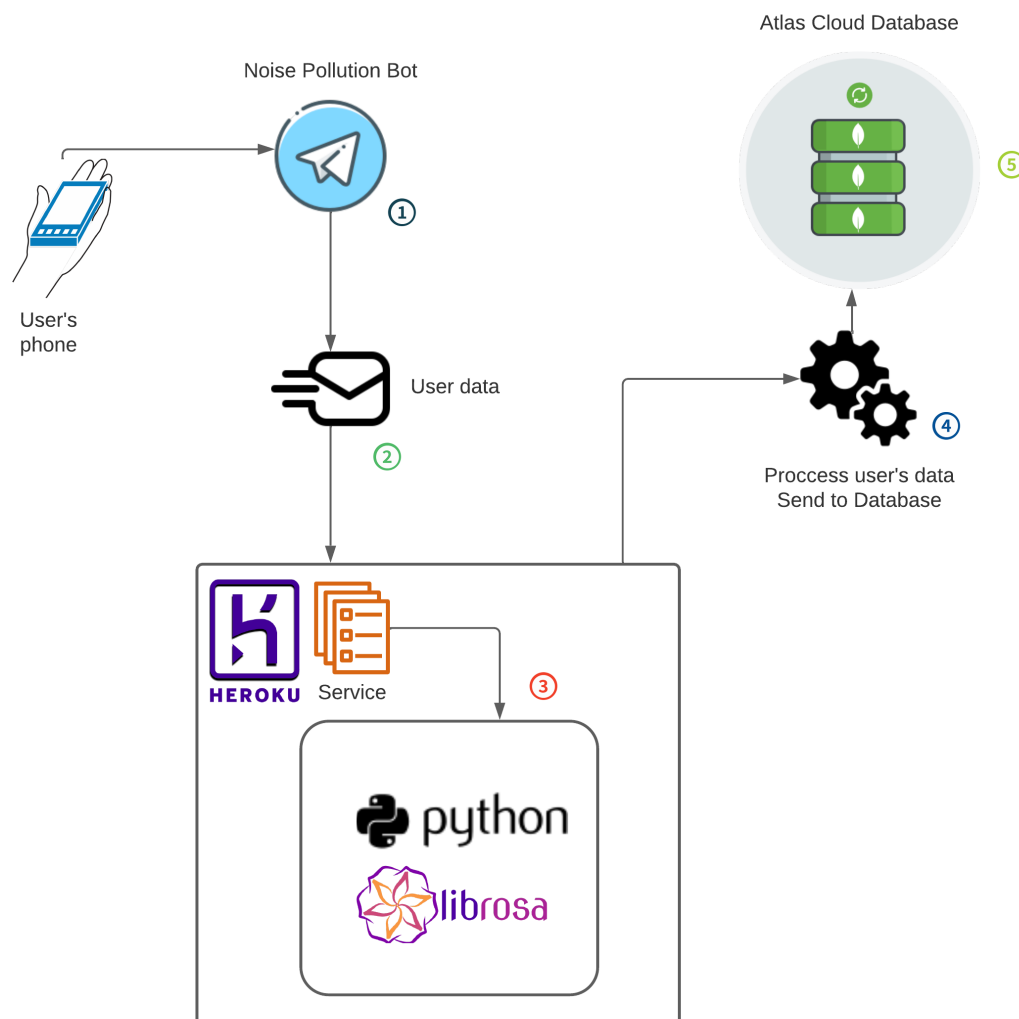


Figura 1. Coleta de Dados.

Com estes dados fornecidos, após o comando especificado pelo *chatbot*, começa a fase de processamento do dado. Utilizando a biblioteca **Librosa**, o áudio recebido é processado por essa biblioteca e retorna um espectrograma do som, onde é possível metrificar um intervalo de decibéis exemplificado pela Figura 2.

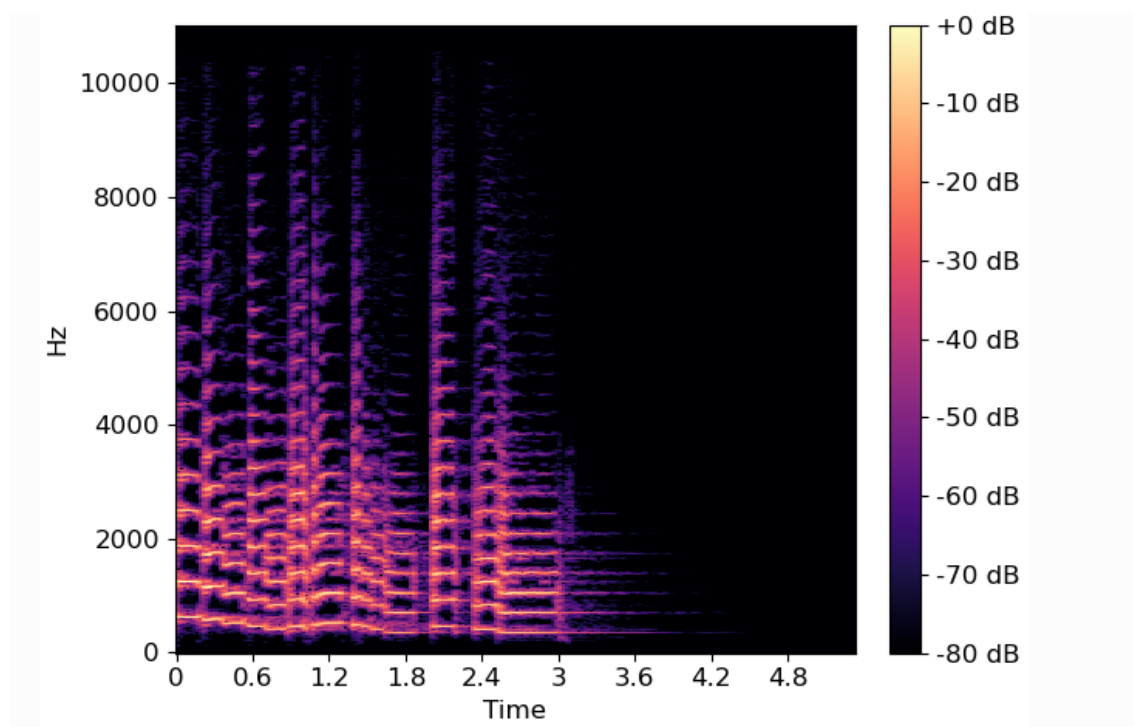


Figura 2. Exemplo de um espectrograma em decibéis.

Já com o espectrograma do som coletado e o intervalo de decibéis descoberto, é aplicado um filtro chamado de *A Weighting*, que é uma curva dependente da frequência que é aplicada às medições de pressão sonora do microfone para imitar os efeitos da audição humana. Dados os mesmos níveis de pressão sonora, as gravações do microfone podem ser muito diferentes dos níveis percebidos pelo ouvido humano.

Após essas informações coletadas é possível criar um registro que terá atributos como: data e hora de criação, intervalos de decibéis sem filtro, intervalos de decibéis com filtro *A Weighting*, localização do usuário na hora do registro e média quadrática da pressão do sinal sonoro ao longo de sua duração. Após a criação do registro de dados, exemplificado na Figura 3, o mesmo é enviado a um serviço de computação em nuvem, o *Atlas MongoDB*, onde um banco de dados em tempo real está armazenado.

O fluxo é então encerrado e o registro criado começa a popular o banco de dados, enriquecendo assim, nosso conhecimento sobre os pontos críticos que sofrem com a poluição sonora.

```
_id: ObjectId("624f82e7a726702f3c12d636")
creation_date: "2022-04-07 21:33:43"
min_db: -52.9732
max_db: 27.0268
min_dbA: -132.9732
max_dbA: 23.8593
lat: -19.994006
long: -43.892766
rms_loudness: 0.0214
```

Propriedades

- Horário do dado
- Nível mínimo de decibéis
- Nível máximo de decibéis
- Nível mínimo de decibéis com filtro A_Weighting
- Nível máximo de decibéis com filtro A_Weighting
- Latitude
- Longitude
- Média quadrática de ruído

Figura 3. Registro no banco de dados.

6. Resultados

A seção a seguir apresentará uma síntese sobre os resultados alcançados durante o desenvolvimento do trabalho até o presente momento. A seção elucidará os pontos positivos e negativos do trabalho como uma ferramenta de captação de poluição sonora.

Ao longo do trabalho, ficou claro a possibilidade de se utilizar o aplicativo para uma medição de triagem e localizar os pontos focais de poluição sonora na cidade. Porém, o trabalho encontrou algumas limitações, como foram utilizados *smartphones* como a fonte de coleta desse material, é de grande importância enfatizar que a maioria dos dispositivos são configurados para enriquecer a captação da fala humana e essa captação no intervalo de **80-90 dB**, em dispositivos *Android*, tem uma menor acurácia. [McLennon T 2019].

Devido a ferramenta *MongoDb Atlas*, é possível a visualização dos dados inseridos em um mapa de calor por parte do administrador do banco de dados, por hora, essa visualização ainda está privada para os demais contribuintes do projeto, porém, nos próximos passos do projeto, um domínio poderá ser criado para que os usuários tenham uma demonstração deste mapa de calor em tempo real.

Um dos desafios dos projetos de *Crowdsourcing* é precisamente a adesão dos voluntários, normalmente, projetos comunitários necessitam de uma forma de incentivo para o usuário, seja em forma de *gameificação* ou incentivo financeiro [Shao B. Shi, L Xu B, Liu L 2012]. Mesmo sem esse tipo de incentivo, o *NP-Bot* conseguiu atingir certa adesão, foram colhidas cerca de 180 amostras espalhadas por alguns pontos da cidade, possibilitando uma primeira análise dos dados. A Figura 4 demonstra um mapa de calor que tem como ponto a média dos maiores picos de decibéis registrados na cidade de Belo Horizonte. Contudo, é necessário ressaltar que este mapa é apenas uma versão inicial, é necessário um maior número de amostras para que a média seja estabilizada e reflita realmente a situação na cidade.

O *NP-Bot* também pode ter um uso mais abrangente, caso essa primeira iniciativa seja aderida pelos voluntários, pode também se tornar um banco de dados rico para o setor imobiliário. Já que os dados de uma vizinhança mais tranquila poderão ser facilmente encontrados.

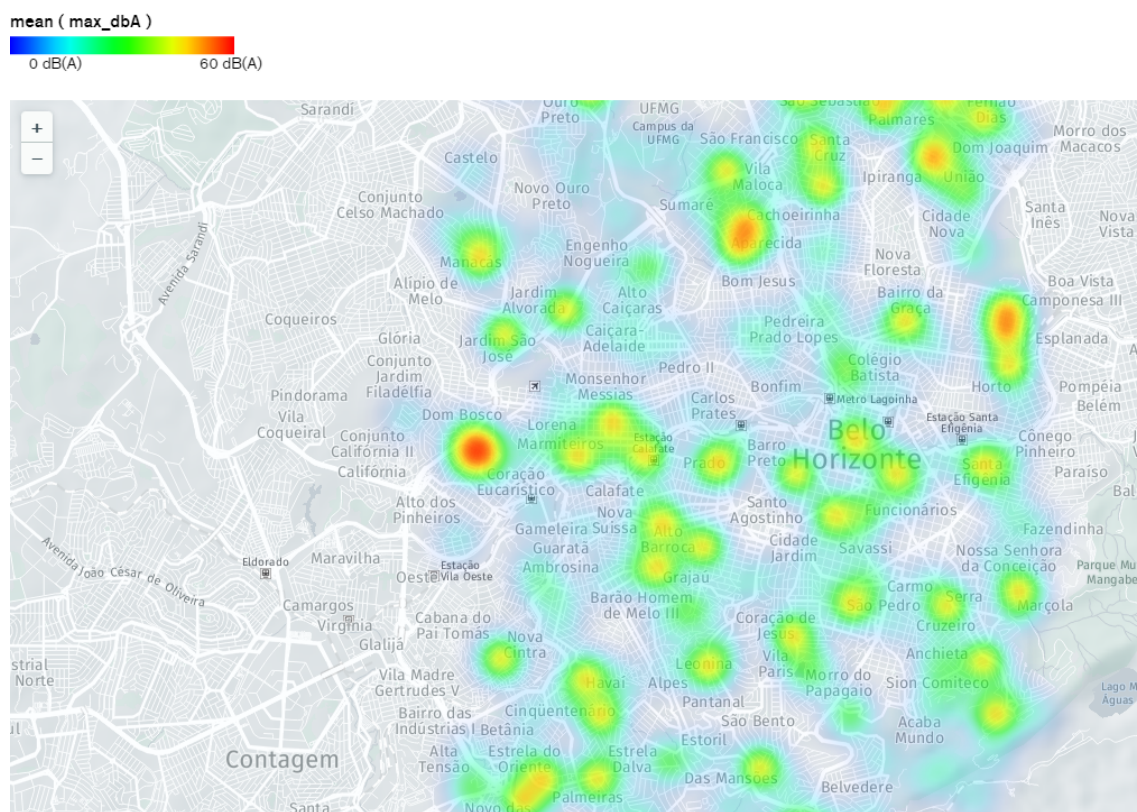


Figura 4. Média de dB(A) em Belo Horizonte.

Por ser uma aplicação que utiliza de uma biblioteca rica para extração de características de áudio, com apenas algumas modificações em seu código-fonte, é possível criar aplicações novas com funcionalidades interessantíssimas. Seu uso pode ser aplicado na área de *Deep Learning*, onde sons diversos podem ser identificados. Por exemplo, é possível identificar uma área ambiental mais preservada ao identificar ruídos de animais não-domésticos em maior escala.

Contudo, devido as limitações acima citadas, o projeto pode ser utilizado como um indicativo inicial para estudos preliminares, para uma acurácia e projetos de base científica mais assertivos, é de extrema importância que sensores apropriados sejam utilizados nos pontos previamente detectados pelo *NP-Bot*.

7. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresenta uma abordagem para coleta de dados de poluição sonora na cidade de Belo Horizonte. Com o objetivo de solucionar o problema de escassez de dados sobre poluição sonora na cidade de Belo Horizonte e assim possibilitar que o governo tome decisões mais assertivas em quais pontos agir. A primeira avaliação demonstra que a solução proposta consegue trazer um resultado satisfatório e com mais adesão dos voluntários, pode ser escalável e utilizada também em outras cidades ao redor do globo. Como trabalhos futuros, é possível investigar o uso de outras métricas para melhorar a análise dos dados obtidos. Poderá ser criado um site que permita a visualização em tempo

real de todas as contribuições já feitas pelos voluntários e também a partir dos dados criar projeções futuras. Além disso, a base da aplicação poderá ser usada em novos projetos que utilizem reconhecimento de sinais sonoros para treinamento de inteligência artificial.

Referências

- Dutta, J., Pramanick, P., and Roy, S. (2017). Noisesense: Crowdsourced context aware sensing for real time noise pollution monitoring of the city. In *2017 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, pages 1–6.
- James Lindenbaum, Adam Wiggins, Orion Henry (2007–2022). Heroku, Inc. <https://www.heroku.com/>. Salesforce Subsidiary [Computer Software].
- Kanhere, S. S. (2013). Participatory sensing: Crowdsourcing data from mobile smartphones in urban spaces. In *International Conference on Distributed Computing and Internet Technology*, pages 19–26. Springer.
- McFee, B., Raffel, C., Liang, D., Ellis, D. P., McVicar, M., Battenberg, E., and Nieto, O. (2015). librosa: Audio and music signal analysis in python. In *Proceedings of the 14th python in science conference*, volume 8. [Computer Software].
- McLennon T, Patel S, B. A. A.-E. (2019). Evaluation of smartphone sound level meter applications as a reliable tool for noise monitoring.
- Miranda, F. S. and Stadzisz, P. C. (2018). Uma proposta para monitorar a poluição sonora através de smartphones e uma cidade virtual 3d. In *Anais do IX Workshop de Computação Aplicada a Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais*, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- MongoDb, Inc. (2009–2022). MongoDB Atlas. <https://www.mongodb.com/>. Stable 5.0.8, [Computer Software].
- Moszynski, P. (2011). Who warns noise pollution is a growing hazard to health in europe.
- Moudon, A. V. (2009). Real noise from the urban environment: How ambient community noise affects health and what can be done about it. volume 37, pages 167–171.
- Purdy, K. (2013). Why gps eats so much battery power, explained by a google engineer. Computer World.
- Python Telegram Bot Community (2015–2022). Python telegram bot api - we made you a wrapper you cant refuse! <https://python-telegram-bot.org/>. 20.0, [Computer Software].
- Schweizer, I., Darmstadt, T., Probst, F., Bärtl, R., Darmstadt, T., Mühlhäuser, M., Darmstadt, T., Schulz, A., and Darmstadt, T. (2011). Noisemap - real-time participatory noise maps. In *In Second International Workshop on Sensing Applications on Mobile Phones*.
- Segura-Garcia, J., Felici-Castell, S., Perez-Solano, J. J., Cobos, M., and Navarro, J. M. (2015). Low-cost alternatives for urban noise nuisance monitoring using wireless sensor networks. *IEEE Sensors Journal*, 15(2):836–844.
- Shao B. Shi, L Xu B , Liu L (2012). Factors affecting participation of solvers in crowdsourcing: an empirical study from china.
- Stansfeld, S. A. and Matheson, M. P. (2003). Noise pollution: non-auditory effects on health. *British medical bulletin*, 68(1):243–257.
- Telegram Messenger, Inc. (2022). <https://telegram.org>. Windows: 1.8.5, [Computer Software].

Van Rossum, G. and Drake, F. L. (2009). *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace, Scotts Valley, CA.