

ESTRUTURAÇÃO DE UMA REDE NEURO-FUZZY PARA A PREVISÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO EM UMA RODOVIA FEDERAL

CARLOS HENRIQUE RODRIGUES ALVES

FRANCIELY VELOZO ARAGÃO

Resumo

O ruído de tráfego é uma das maiores fontes de poluição sonora, o mesmo é formado pelos diferentes tipos de veículos que circulam nas vias da cidade. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi estruturar uma rede neuro-Fuzzy para ser utilizada na previsão do ruído gerado pelo tráfego. Foram caracterizados os volumes sonoros equivalente em três períodos de pico do tráfego na Avenida Colombo em Maringá – PR para o desenvolvimento da rede, que funciona como um modelo preditivo do volume sonoro urbano. Para isso, foi utilizado um sonômetro para captar a intensidade do ruído causado pelos veículos, uma câmera para a contagem do volume de tráfego e um aplicativo de celular para a observação da velocidade no período de estudo. Após o tratamento dos dados coletados foi estruturada uma rede neuro-Fuzzy do tipo Sugeno. Os dados de entrada utilizados foram a quantidade total de veículos no tráfego durante o período analisado e a velocidade média da via. A variável de saída foi o Nível Sonoro Equivalente calculado, com o qual foi possível identificar ruídos de tráfego acima dos recomendados pela legislação e uma confirmação da eficácia da rede gerada que apresentou baixos índices de erro durante os processos de validação e checagem.

Palavras-chave: *neuro-Fuzzy; poluição sonora; logística urbana..*

1. Introdução

Segundo a Organização Mundial da Saúde (ONU) a população urbana, hoje, corresponde a 55% da população mundial e corresponderá a 68% em 2050. Em razão desse crescimento a logística urbana ganhou *status* relevante no âmbito acadêmico na busca de soluções para os problemas do trânsito, especialmente métodos preditivos que auxiliam nas roteirizações e na previsão de comportamentos dos fluxos de automóveis em situações específicas.

O estudo da Logística urbana, envolve o processo de otimização das atividades logísticas e de transportes de mercadorias em áreas urbanas. Neste sentido, o transporte de carga urbana exerce funções que estão ligadas às atividades de produção, distribuição e consumo de produto ou serviço, ou seja, englobando toda a cadeia de distribuição e abastecimento físico em áreas urbanas (TANIGUCHI *et al.*, 2003).

Browne *et al.* (2007), relatam que estudos são realizados a respeito do fluxo de tráfego e seus impactos no meio urbano, contudo, aqueles são voltados para a avaliação de transportes públicos e veículos particulares e pouco se fala dos impactos ambientais.

A grande quantidade de fluxo de tráfego se deslocando diariamente em razão do trabalho, do comércio e do lazer provoca uma grande quantidade de ruídos. Modelos de estudo que demonstrem padrões de geração desses ruídos, de modo que possam ser reconhecidos e, assim, previstos, têm sido desenvolvidos em razão da abundante poluição sonora gerada pela crescente quantidade de veículos nas ruas.

O ruído do tráfego é um som indesejável. O nível de ruído relacionado a problemas urbanos e poluição sonora gerada pelo trânsito é um dos principais problemas da falta de planejamento urbano e responsável pela redução da qualidade de vida da população além de causar degradação do conforto acústico em áreas urbanas. Nesse sentido, pode-se afirmar que, considerando os problemas causados pelo movimento de bens e pessoas em áreas urbanas, a avaliação dos problemas e as ações de controle dos efeitos adversos estão se tornando uma preocupação para a comunidade, evidenciada pelo grande número de leis e regulamentos que limitam o ruído (RAMÍREZ E DOMÍNGUEZ, 2013).

De acordo com Barbosa (2015) os efeitos adversos mais comuns trazidos pela exposição ao ruído à saúde humana são negativos e resultado de ativações crônicas dos sistemas nervoso e endócrino. Em virtude da cronicidade e dos altos níveis, ao longo do tempo, originam problemas de saúde mais graves como doenças cardiovasculares.

Ainda segundo Barbosa (2015) o ruído pode ser considerado um agressor potencial e pouco reconhecível devido à dificuldade no estabelecimento de correlações concisas entre causas e efeitos.

Algumas técnicas têm sido desenvolvidas ao longo dos anos e utilizadas no aprimoramento da previsão do comportamento do tráfego de veículos e na sua relação com a poluição sonora gerada. Algumas dessas técnicas utilizam recursos matemáticos, computacionais e analogias, e podem ser formuladas através da Inteligência Artificial.

Para Santos, Felix e Vieira (2009) técnicas como a Lógica *Fuzzy* e as redes neurais artificiais têm sido usadas como ferramentas de apoio e até mesmo substituição de métodos tradicionais nas tomadas de decisões de roteirização, ou seja, na previsão comportamental do tráfego de veículos.

A Lógica *Fuzzy* teve origem em 1965 com o artigo *Fuzzy Sets* de Lofti Zadeh, quando este percebeu que muitos problemas do cotidiano não poderiam ser resolvidos através da lógica booleana. Segundo Sousa (2005), a Lógica *Fuzzy* conceitualmente se opõe à lógica tradicional porque permite considerar valores intermediários entre 0 e 1 assumindo o conceito de graus de verdade e permitindo, assim, uma experiência mais próxima do modo de pensamento humano.

Já as redes neurais artificiais, de acordo com Ferreira (2017), são modelos desenhados imitando a forma de aprendizado do cérebro humano. Sua principal característica é a obtenção de conhecimento pela rede através da habilidade de aprender (treinamento) e pela força de conexão entre os neurônios, que é utilizada para memorizar o conhecimento.

Consoante Vellasco (2007), as redes neurais artificiais se apresentam como proeminentes técnicas estatísticas não lineares, ou seja, que não seguem padrões. Ainda segundo o autor, elas são adequadas à resolução de problemas altamente complexos onde não é possível estabelecer, de forma clara, uma lista de regras a serem seguidas. Normalmente, isso se verifica em ambientes dinâmicos, onde os dados mudam constantemente, sendo, a classificação de padrões e previsões as áreas mais indicadas para a utilização dessas redes.

Como problemática, tem-se a caracterização espacial do ruído ambiental por meio de equipamentos específicos. Dessa forma, técnicas de previsão podem ser utilizadas para otimizar as análises deste tipo de problema e ainda auxiliar o planejamento urbano.

Neste contexto, o presente estudo visa estruturar uma metodologia de apoio à tomada de decisão, com foco na previsão do volume sonoro gerado pelo tráfego urbano, utilizando ferramentas de inteligência artificial e um software matemático.

Para atingir tal objetivo, acima exposto, estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar a área de estudo;
- b) Analisar o processo de logística urbana da área de estudo, a fim de identificar o relacionamento entre o fluxo de automóveis, a velocidade do tráfego e o volume sonoro gerado.
- c) Estruturar uma metodologia de apoio à previsão do nível de poluição sonora gerado, através da geração de uma rede *neuro-Fuzzy*.

- d) Treinar, validar e checar a aplicação da estrutura proposta em diferentes cenários de comportamento do tráfego com o auxílio da *toolbox Neuro-Fuzzy Designer* do MATLAB.
- e) Analisar os resultados e divulgá-los.

O trabalho está organizado em 5 seções principais:

A Seção 1 contém a introdução do trabalho.

A Seção 2 contém a revisão de literatura com um panorama das principais publicações relacionadas à Logística Urbana, Ruídos, Normas de permissão sonoras, Redes Neurais Artificiais e Lógica *Fuzzy*. Além de aplicações das Redes *Neuro-Fuzzy* na predição de volume sonoro do tráfego.

A Seção 3 explica a metodologia aplicada na estruturação da rede *neuro-fuzzy* utilizada no presente trabalho, bem como a delimitação da área de estudos

A quarta seção apresenta os resultados gerados e a discussão dos mesmos e é seguida pela Seção 5, que contém as considerações finais sobre trabalho.

2. Revisão de literatura

2.1 Logística Urbana

As recentes mudanças nos modelos de consumo e de produção trouxeram novos desafios à mobilidade urbana e à logística de entregas. A logística urbana é o ramo da logística que se ocupa de estudar e desenvolver estudos relacionados à solução dos problemas gerados pelo trânsito e suas otimizações.

Ainda segundo Andrade *et al.* (2017), nos centros urbanos a movimentação de pessoas e produtos vem crescendo e tornando imperativa a busca por soluções mais eficientes para as precárias vias urbanas existentes.

Segundo Vaccari e Fanini (2011), a mobilidade urbana pode ser definida como uma característica do meio urbano ligada às pessoas e a fatores econômicos, com o objetivo de atender as necessidades de transporte para a realização de atividades como: lazer, educação, saúde, trabalho, entre outras.

Os estudos da logística urbana concentram-se principalmente no planejamento das distribuições ou das coletas de mercadorias e pessoas em áreas populosas (FERREIRA; ROSA, 2016).

De acordo com Dutra (2004) foi no final dos anos de 1990, na Europa, que a logística urbana assumiu o caráter de área de planejamento de transportes.

Ainda para Dutra (2004), o conceito de logística urbana, ou *city logistics*, busca a eficiência no transporte urbano e de cargas e, ao mesmo tempo, e na mesma intensidade, a redução dos custos sociais e ambientais que venham a ser gerados pelo sistema.

2.2 Ruído

Morillas *et al.* (2002) relatam que o desenvolvimento humano e o crescimento acelerado dos espaços urbanos estão gerando ambientes contaminados por intensos níveis de pressão sonora, os quais influenciam na qualidade de vida da população, principalmente os ruídos oriundos do tráfego urbano.

O ruído se caracteriza por uma junção de sons sem harmonia, este som é desagradável e indesejável ao ouvido humano, causando incômodo e desconforto ao homem (GERGES, 2000).

Para Zanin *et al.* (2002), o ruído proveniente do tráfego urbano é ocasionado pelo crescente aumento da população, e também da utilização de veículos para diversas modalidades como trabalho, estudos e passeio.

Steele (2001) faz uma revisão de diversos modelos de medição de nível sonoro utilizados desde os anos 50. O autor ressalta que no início os modelos eram focados na medição do nível sonoro de veículos isolados e a velocidades constantes. Com o tempo a medição passou a ser feita também em função da variação da velocidade. Posteriormente, passou-se a considerar o nível sonoro equivalente dentro de um determinado período de tempo. Recentemente, segundo Steele, os estudos têm considerado amplos espectros de fontes sonoras, diversas fontes de perturbação e até mesmo dezenas de pontos de coleta para obtenção de uma gama maior de dados. O Quadro 1 traz um resumo desses modelos:

Quadro 1 - Modelos de medição de nível sonoro segundo Steele (2001).

Autores		Inovação
Modelos Predecessores	Handbook of Acoustic Noise Control (1952.)	Uma fórmula usada para calcular a pressão sonora para velocidades entre 35 e 45 mph (milhas por hora) e distâncias superiores a 20 pés.
	Nickson (1965) e Lamure (1965).	Inserção de uma constante que diferenciava os níveis de velocidade com que os carros se moviam.

	Johnson <i>et al.</i> (1968).	A velocidade como uma variante relevante no desenvolvimento de uma fórmula preditiva do <i>Leq</i> . Esse estudo acrescentou correções em decibéis para porcentagens diferentes de caminhões no volume total de veículos.
	Morse <i>et al.</i> (1968).	Inseriu soluções para pontos de coleta em trechos alternadamente rugosos.
	Galloway <i>et al.</i> (1969).	Introduziu uma variável, T, que representava a porcentagem de caminhões no volume de tráfego.
Modelos de uso recente	Rathe (1969).	Produziu uma solução analítica para incoerências em relação a posição dos pontos de coleta.
	FHWA highway traffic noise prediction model (1976) .	O modelo assume fontes pontuais viajando a velocidades constantes e mensurou erros para diferentes distâncias entre as fontes e os coletores de som.
	Steele (1985).	Modelo mais generalizado e funcional para trechos de aceleração, frenagem ou fluxo contínuo.
	Cammarata <i>et al.</i> (1995).	Uso de redes neurais em substituição aos modelos de regressão linear.
	Anderson <i>et al.</i> (1996).	Introduziu melhorias nos estudos anteriores relacionadas a: acelerações, pedágios, semáforos e etc.

Fonte: Adaptado de Steele (2001)

Outro panorama do tema pode ser encontrado em Garg e Maji (2014) onde são descritos os nove principais modelos de previsão de nível sonoro para o trânsito, segundo os autores. Os modelos são comparados segundo aspectos geométricos (distância da fonte sonora), atmosféricos (absorção do ar), meteorológicos, de solo (rugosidade) e de difração dentre outros fatores aleatórios, como: túneis, secções da estrada, depressões e etc.

2.3 Redes Neurais Artificiais

As origens das Redes Neurais Artificiais (RNAs) estão definidas no desenvolvimento da inteligência artificial. Segundo Silva, Spati e Flauzino (2010), o primeiro modelo de Inteligência Artificial (IA) do tipo conexionista (que busca desenvolver sistemas que tenham comportamento similar ao cérebro humano) foi proposto em 1943 e era composto por um neurônio artificial aplicado à classificação de padrões. Modelos do tipo conexionista utilizam-se de variáveis contínuas e operações numéricas e têm como facilitadora a capacidade de

inserção de novos conhecimentos, sejam eles pela inserção direta dos especialistas ou pelo processo de automático de aprendizagem.

De acordo com Haykin (2001) e Silva, Spati e Flauzino (2010) as RNAs têm aplicações nas mais diversas áreas de estudo: engenharia, finanças, medicina, biologia, farmácia, indústria aeroespacial, entre outras. As aplicações se concentram também, nessas áreas, no apoio à tomada de decisão e no controle de processos. Ainda de acordo com os autores, os modelos atuais de RNAs são dotados de capacidades de adaptação por experiência, ou seja, aprendizado através da experimentação.

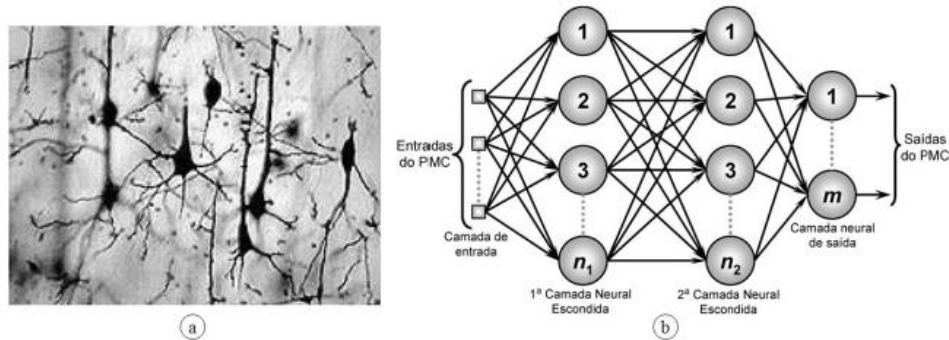
Segundo Ferreira (2017), as redes neurais tentam imitar os sistemas de aprendizado do cérebro humano e são consideradas importantes justamente pela sua habilidade de aprender. Ela é construída de forma a aprender com os dados que são inseridos, como exemplos iniciais, e em seguida buscar padrões semelhantes nas inserções posteriores.

Neste contexto, Haykin (2001) e Silva, Spati e Flauzino (2010) defendem que a partir de um conjunto de amostras ou medidas, que representem o comportamento do problema modelado, os parâmetros internos que compõem a rede são ajustados através do treinamento da mesma, quando a relação entre as variáveis de entrada e saída é extraído.

O processamento das informações ao longo de uma RNA é feito por um conjunto de neurônios artificiais, que são ligados entre si, assim como no modelo biológico, por várias conexões sinápticas (HAYKIN, 2001; SILVA; SPATI, FLAUZINO, 2010).

A Figura 1 demonstra a estrutura de uma rede neural biológica (a), com os neurônios e ligações sinápticas e de uma RNA (b), também chamada de PMC (*Perceptron Multicamadas*). Nas RNAs, existem divisões de camadas de entrada, camada(s) intermediária(s) e camada de saída, compostas por quantidades definidas de neurônios (HAYKIN, 2001; SILVA; SPATI, FLAUZINO, 2010).

Figura 1 - Demonstração de uma rede neural biológica (a) e da estrutura de uma RNA (b).



Fonte: Silva, Spati e Flauzino (2010).

De acordo com Akkoç (2012) as camadas de neurônios, chamadas de “camadas escondidas” são responsáveis pela extração das características do problema, à partir das amostras de dados inseridas nas entradas, e armazená-las em seus neurônio. Esses, também são responsáveis por grande parte das operações de processamento da rede.

Ainda segundo Akkoç (2012) após as saídas da última camada escondida que a rede possuir, a camada de saída recebe os dados, gera e apresenta o resultado final da RNA.

Aplicações das RNAs podem ser vistas nos estudos citados abaixo:

Givargis e Karimi (2010) desenvolveram uma rede neural artificial através de dados coletados nas ruas da cidade de Teerã, no Irã. As entradas foram: volume de tráfego, percentual de veículos pesados, velocidade do tráfego, ângulo de visão, e o gradiente da pista. Do montante de dados 60% foi utilizado para o aprendizado da rede e teste. O restante foi dividido entre treinamento e validação. Embora os autores tenham encontrado coerência no modelo utilizado, não observaram significativa diferença quando comparado aos modelos convencionais e destacaram a importância da coleta de mais dados para uma melhor avaliação do modelo proposto.

Neste contexto, Nedic *et al.* (2014) realizou uma comparação dos modelos convencionais de previsão sonora e dos modelos com o uso de redes neurais artificiais. Em seu modelo proposto as entradas eram compostas por 5 variáveis (quantidade de carros pequenos, médios, grandes, de ônibus e pela velocidade média do fluxo veicular). A saída de dados consistiu no nível equivalente sonoro. Em comparação com os métodos tradicionais usados globalmente a rede neural artificial demonstrou ser mais capaz de prever o nível sonoro equivalente. Entretanto os autores ressaltaram que as características locais do trânsito são importantes fatores no desenvolvimento dos modelos e a comparação foi feita entre um modelo local com um global.

Kumar *et al.* (2011) fizeram uma revisão de literatura das publicações feitas sobre métodos de previsão do volume sonoro do trânsito considerando a dificuldade de estabelecimento de um modelo padrão devido às várias variáveis que influenciam o processo. Na revisão ficou claro que as redes neurais artificiais eram mais apuradas na previsão do barulho do trânsito do que os métodos estatísticos tradicionais. Como sugestão para estudos futuros indicaram a utilização conjunta da lógica *Fuzzy* para aprimoramento da rede.

Para o trânsito indiano, Garg *et al.* (2015) produziram uma comparação dos resultados das redes neurais artificiais com os métodos analíticos convencionais. Coletaram dados de pressão sonora por períodos variados e em meses diferentes. As entradas da rede foram pouco convencionais, mas muito adaptadas a realidade de Nova Délhi, onde os dados foram coletados: quantidade de motocicletas, quantidade de triciclos, quantidade de carros pequenos, quantidade de carros comerciais médios, quantidade de ônibus, de caminhões e as velocidades médias dos veículos leves e dos pesados. As saídas foram duas: o nível sonoro equivalente e o nível sonoro acima da média que se perpetuou por mais de 10% do tempo de medição. Como resultados observou-se que os erros médios quadrados dos dados obtidos pela rede neural artificial foram inferiores aos obtidos através dos modelos analíticos comparados. Os autores classificaram as redes neurais artificiais como uma poderosa ferramenta de previsão sonora para uso no tráfego.

2.4 Lógica *Fuzzy*

A lógica *Fuzzy* é baseada na inexatidão dos resultados. Ela foi desenvolvida para o tratamento de relações do tipo causa e efeito e que consideram a incerteza associada aos valores das variáveis que fazem parte do problema que está sendo tratado. Por meio de seu sistema inferencial a lógica *Fuzzy* permite o tratamento de diversos tipos de problemas, como os que envolvem controle de processos, classificação de padrões, aproximação funcional de funções lineares e não lineares, entre outros (ZIMMERMANN, 1991).

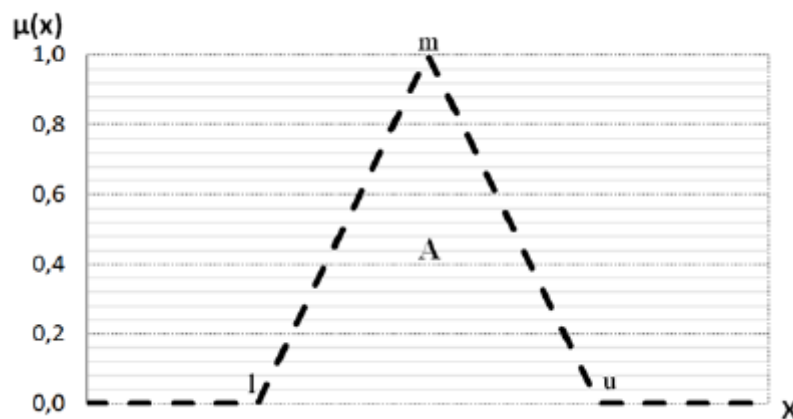
De acordo com Sousa (2005) a lógica *Fuzzy* permite que as proposições assumam quaisquer valores entre 0 e 1 representando assim graus de verdade, segundo o autor, o valor 1 representa a verdade total e o zero a inverdade absoluta.

Para Pedrycz; Gomide (2007) e Zadeh (1965) o intervalo de valores [0,0,1,0] que a função de pertinência pode assumir, permitem a existência de graus pertencimento ao falso ou verdadeiro, de modo a se assumirem graus de verdade.

A representação de grandezas associadas a julgamentos aproximados como comumente ouvimos falar “em torno de 50”, “perto de 70” e “aproximadamente 100” pode ser bem expressa por meio dos números *Fuzzy* (ZIMMERMANN, 1991; KAHRAMAN, 2008).

A forma de um número *Fuzzy* é definida por meio do comportamento da função de pertinência $\mu(x)$. Como é possível verificar na Figura 2, um número *Fuzzy* triangular tem, por meio de sua função de pertinência, a sua representação gráfica nos segmentos lineares na forma de um triângulo. A função pode ser descrita pelas variáveis (l,m,u) , em que m denota um valor *crisp* formal para o conjunto *Fuzzy*, l é o limite inferior e u é o limite superior (PEDRYCZ;GOMIDE,2007).

Figura 2 - Representação de um Número *Fuzzy* triangular.



Fonte: Zimmermann (1991).

Segundo Ferreira (2017) os problemas reais não possuem certezas absolutas em relação a todos os seus aspectos e a lógica *Fuzzy* foi desenvolvida para solucionar esse dilema. Ainda segundo a autora, o modo de funcionamento da lógica se assemelha ao raciocínio humano pela incerteza e pelo uso das suposições.

De acordo com Lima Junior (2016), uma combinação de alguns recursos da teoria dos conjuntos *Fuzzy* em uma estrutura de forma lógica é o que constitui um sistema de inferência *Fuzzy*.

Takagi e Sugeno (1985) introduziram importantes modificações nas estruturas dos sistemas de inferência *Fuzzy*. As regras dos sistemas, que são do tipo IF-THEN passaram a ter suas saídas de dados definidas por funções polinomiais com coeficientes determinados pelo algoritmo dos mínimos quadrados. Essa modificação aumentou a adequação do modelo de

Takagi e Sugeno aos problemas de aproximação funcional, ou seja, por funções de associação, enquanto os modelos tradicionais estavam mais adequados ao uso para tomadas de decisão e para consequentes, que são as saídas das regras, representadas pelo que sucede o termo linguístico *then*.

2.4.1 Rede *neuro-Fuzzy*

Para Ramos (1999) uma rede *neuro-Fuzzy* pode ser definida como um sistema *Fuzzy* que recebeu treinamento de um algoritmo baseado na teoria das redes neurais, ou seja, a rede é uma união dos dois modelos.

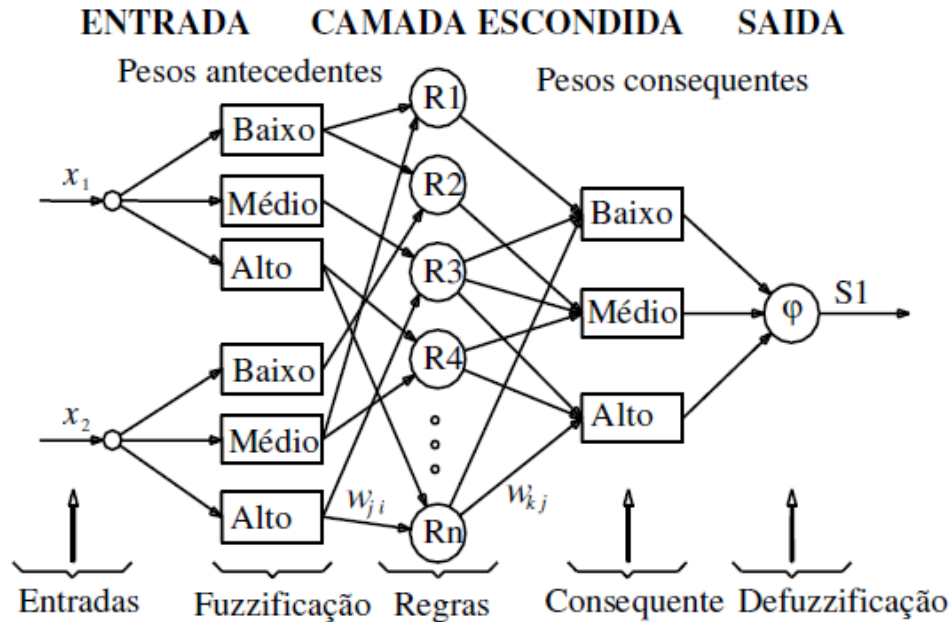
De acordo com Ferreira (2017), uma rede *neuro-Fuzzy* é formada pela junção das duas técnicas e confere à nova rede a capacidade de aprendizado a partir dos dados de treinamento inseridos se adaptando assim, muito bem, aos problemas de modelagem complexa e que requerem reconhecimento de padrões.

Para Ferreira (2017) a união da Rede Neural com a Lógica *Fuzzy* tem o objetivo de tornar mais branda as deficiências de cada sistema isolado, para que se obtenha um sistema global mais eficiente, robusto e compreensível.

Segundo Brusaferrro, (2006) o método *Adaptive Network based Fuzzy Inference System* (ANFIS), um dos tipos de estrutura de redes *neuro-Fuzzy*, aplica inferência *Fuzzy* ao sistema e escolhe de maneira automática as funções de pertinência (*membership functions*). As funções de pertinência são ajustadas através de um algoritmo de retro propagação, único, ou combinado a um método que utilize os mínimos quadrados. Desta forma, dá-se o aprendizado dos dados pelo modelo.

A Figura 3 demonstra a arquitetura de um sistema ANFIS do tipo Takagi-Sugeno:

Figura 3 - Arquitetura de um sistema ANFIS – Takagi-Sugeno.



Fonte: Sanchez (2009)

Segundo Sanchez (2009) a camada de entrada representa as variáveis de entrada, que são inseridas pelos especialistas e que são normalizadas e organizadas dentro de um intervalo numérico, podendo este ser $[0,1]$ ou $[-1,1]$. Na segunda camada acontece a fuzzificação. Nesse processo os intervalos das variáveis de entrada são divididos em diversos níveis, neste caso da Figura 3: Alto, Médio e Baixo, os quais funcionam como pesos da rede para cada entrada e são chamados de pesos antecedentes. Na terceira camada estão as regras geradas pela *Fuzzy Inference System* (FIS). Na quarta camada estão os consequentes das regras e, na quinta camada ou camada de saída, ocorre a etapa de defuzzificação. Nesta última etapa acontece o cálculo do valor numérico de saída.

Neste contexto, Sharma *et al.* (2014) em seu estudo consideraram como principais parâmetros que afetam o trânsito: o fluxo de veículos, a velocidade dos veículos e as buzinas - essa última entrada para a rede neural foi escolhida por caracterizar o local de estudo e ter muita influencia no transito da Cidade de Nangpur, na Índia, local onde o estudo foi realizado. Esses parâmetros medidos foram utilizados como entradas para o modelo de previsão de nível sonoro do trânsito. O modelo desenvolvido (ANFIS – Rede Neural Artificial baseada em uma inferência do tipo *Fuzzy*) foi comparado com modelos de regressão e demonstrou ter resultados melhores. O modelo proposto foi bastante genérico e utilizou oito pontos de coleta na cidade.

Kumar *et al.* (2014) propuseram um modelo de rede neural artificial utilizando a lógica *Fuzzy* para identificação do nível sonoro no tráfego indiano. As entradas da rede foram variáveis convencionais: quantidade de carros observados, percentual de caminhões ou veículos considerados pesados e velocidades observadas no período de tempo estudado. Porém, nesse modelo, os autores obtiveram duas saídas de dados: uma delas com o nível sonoro equivalente e outra com o nível sonoro que se observou por mais de 10% do tempo de medição. Os resultados mostraram uma performance melhor do que a observada em modelos de regressão. Entretanto, a quantidade de dados utilizados no estudo é considerada baixa. Os autores, então, sugeriram amostras maiores para estudos futuros.

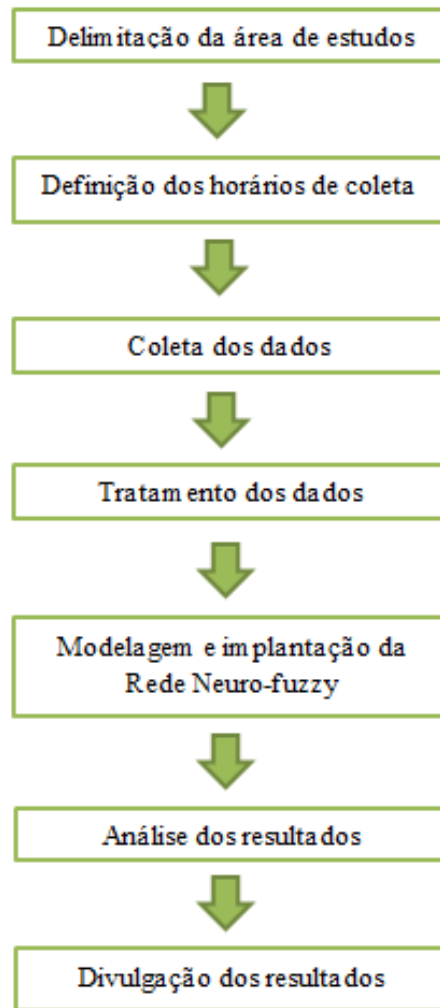
3. Metodologia

O presente trabalho é uma aplicação da ferramenta de inteligência artificial, rede *neuro-Fuzzy*, que visa contribuir com a previsão de poluição sonora gerada pelo tráfego de veículos. Uma rede *neuro-Fuzzy* foi utilizada como ferramenta de previsão e elaborada à partir de dados coletados.

O ponto de monitoramento acústico localiza-se na Avenida Colombo (Rodovia Federal BR-376) que se caracteriza como uma Travessia Urbana. O ponto de coleta de dados se apresenta como cruzamento entre a Avenida Colombo com a Rua Deputado Ardinial Ribas.

A Figura 4 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada neste estudo

Figura 4 - Fluxo da metodologia



Fonte: Autoria Própria (2018)

A pesquisa foi desenvolvida em seis etapas diferentes e cada uma delas é melhor explicada nos tópicos abaixo.

3.1 Definição da área de estudos

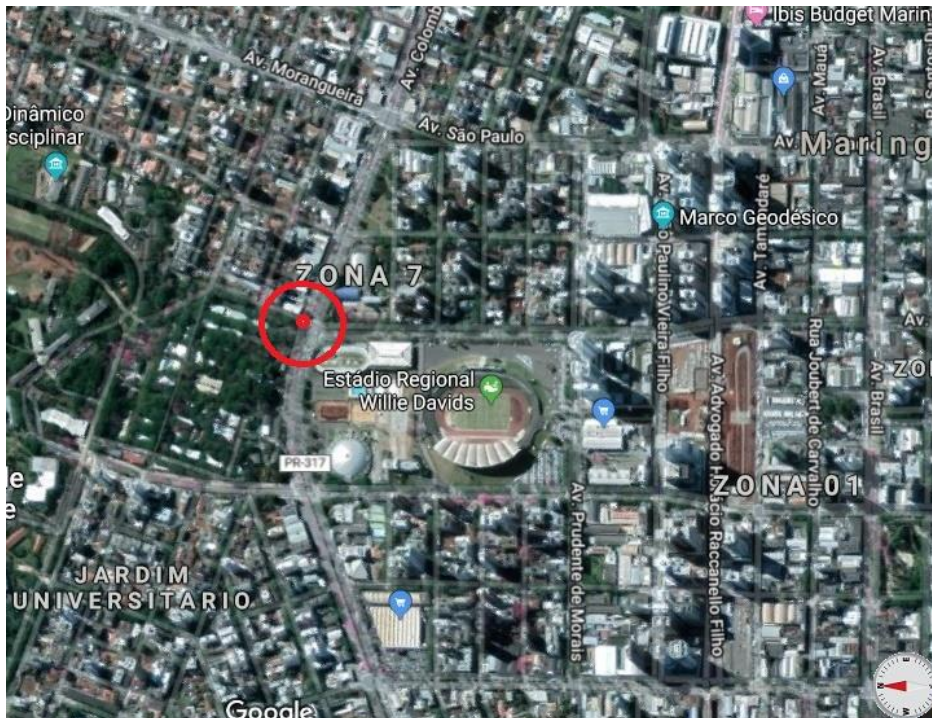
Maringá tem uma das maiores frotas municipais cadastradas. Segundo o DETRAN/PR (2018) estão cadastrados na cidade 172.261 automóveis, 9.873 caminhões, 1.287 ônibus e 42.497 motocicletas dentre outros meios de transporte. Um contingente bastante alto e propício a contribuir para a formação de longos congestionamentos e altos níveis de poluição sonora.

Não obstante as vias arteriais da cidade de Maringá servirem de acesso aos mais de 400 mil habitantes, ainda há a região metropolitana de Maringá, que soma outros 33 municípios que se utilizam direta e indiretamente dos serviços da cidade e aumentam a população envolvida para mais 800 mil habitantes, segundo dados do IBGE (2013).

A escolha da principal via de acesso à cidade, a Avenida Colombo, para este estudo, dá-se justamente nesse contexto, pois recebe automóveis de vias menores municipais e serve como entrada e saída da cidade, sendo, conseqüentemente, uma grande geradora de poluição sonora.

O ponto de coleta dos dados está sinalizado em vermelho na Figura 5.

Figura 5 - Localização do ponto de coleta de dados na cidade de Maringá – PR.

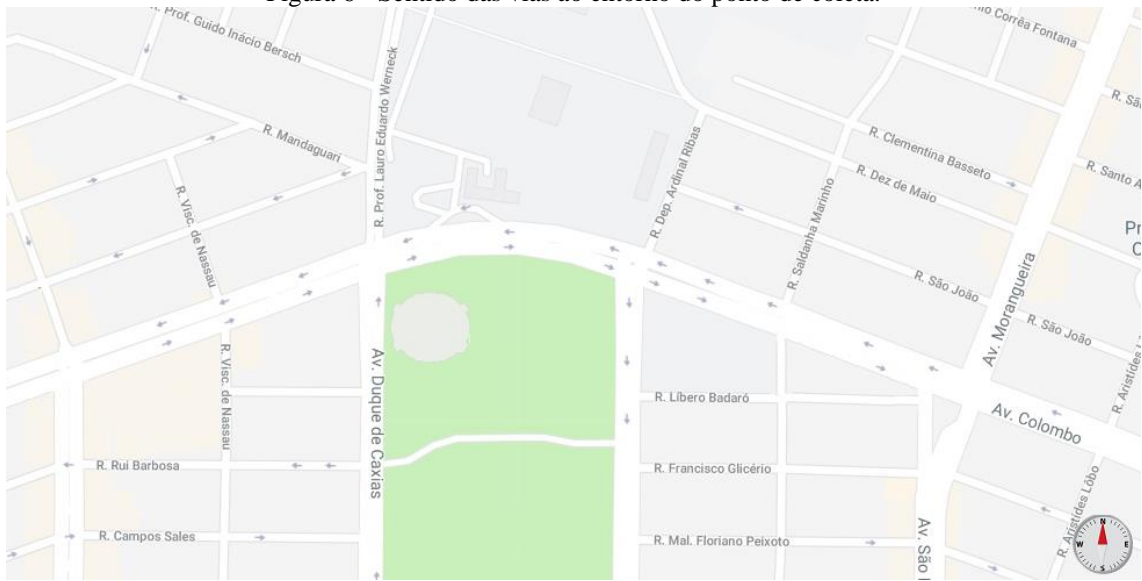


Fonte: Google Earth (2018).

O local de coleta dos dados é ponto de cruzamento entre as oito pistas da Avenida Colombo (quatro em uma via sentido noroeste e quatro em outra via no sentido sudeste) e o final da Rua Deputado Ardinal Ribas e início das avenidas Demétrio Ribeiro e Herval. Portanto, o volume sonoro é sempre influenciado por carros em movimento mesmo nos momentos em que o semáforo da Avenida Colombo se encontra *fechado*.

A Figura 6 demonstra os sentidos dos carros nas vias que influenciam no ponto de coleta de dados.

Figura 6 - Sentido das vias ao entorno do ponto de coleta.



Fonte: Google Maps (2018).

Como é possível verificar na Figura 6 a pista onde foi efetuada a medição, no trecho estudado, têm seu fluxo noroeste.

3.2 Definições dos horários de coleta

Os horários das coletas de dados foram definidos para refletirem o nível de pressão sonora e volume de tráfego nos horários de pico do tráfego na Avenida Colombo. Foram escolhidos três períodos que são influenciados pelo horário comercial. O período de coleta de dados foi de quinze minutos e representado pelas siglas P1, P2 e P3 como demonstrado abaixo:

- Período P1: das 7 horas e 45 minutos às 08 horas,
- Período P2: das 13 horas e 15 minutos às 13 horas e 30 minutos,
- Período P3: das 18 horas e 15 minutos às 18 horas e 30 minutos.

3.3 Procedimento de Coleta de Dados

Os dados referentes ao nível de pressão sonora gerado pelo tráfego foram coletados com o uso de um sonômetro da marca ICEL, modelo DL-4200. As medições ocorreram conforme a Norma NBR 10.151 (2000). O medidor sonoro foi posicionado a 1 metro e 20 centímetros de altura em relação ao piso, e a mais ou menos 7 metros do centro da via. Destaque-se que o aparelho estava na frequência de 30 a 130 dB(A) com tempo de integração de 1 segundo (*fast*). Portanto, foram efetuadas 900 medições a cada período de 15 minutos.

Para a coleta dos dados de volume de tráfego, foi utilizada uma câmera da marca Sony, modelo α -3000, a qual possibilitou gravar o fluxo veicular nos períodos de monitoramento. Posteriormente, através das gravações, realizou-se a contagem veicular no ponto monitorado. A contagem foi dividida entre veículos leves, veículos pesados e motocicletas.

As medições referentes à velocidade média nos períodos foram efetuadas com o uso do aplicativo Waze, que é alimentado por usuários das vias em tempo real e oferece dados como a velocidade média e rota ideal instantaneamente.

Os dados foram coletados durante 12 dias seguidos, excluindo-se sábados e domingos. O período teve início em 20/08/2018 e término em 31/08/2018.

3.4 Tratamentos dos dados

Os dados coletados foram dispostos em planilhas do *Excel* para melhor manuseio e organização.

A quantidade de veículos observada foi dividida em:

- Veículos Leves
- Veículos Pesados
- Motocicletas

As velocidades médias fornecidas pelo aplicativo *Waze* também foram organizadas em planilhas e foram fruto de observação simples do valor mostrado dentro do período analisado.

Os dados referentes ao volume sonoro receberam um tratamento diferenciado. Foram dispostos em uma planilha do *Excel* e utilizados para o cálculo do *Leq*.

3.4.1 Nível de Pressão Sonora

Toda energia acústica emitida por uma fonte é denominada Nível de Pressão Sonora (NPS). Em monitoramentos sonoros o NPS varia durante um dado intervalo de tempo (T), onde a média do mesmo representa o Nível Equivalente de Pressão Sonora (*Leq*) como relata Bistafa, (2011).

O NPS é definido pela ISO 1996/1 (1987), tendo como unidade o dB.

$$NPS = 10 \log \left[\left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Onde:

P: Pressão Sonora em pascal;

P_0 : Pressão Sonora de referência

O Leq também é definido de acordo com a 11996/1 (1987), tendo como unidade o dB:

$$Leq = 10 \times \log \left[\frac{1}{T} \times \sum_{i=1}^n t_i \times 10^{\frac{Li}{10}} \right] \quad (2)$$

Onde:

T: Tempo total em horas;

Li: Nível de Intensidade Sonora em dB.

Ti: Tempo parcial em horas.

Gerges (2000), afirma que o Leq é usualmente utilizado em análises de ruído ambiental, principalmente no estudo de ruído de tráfego. O Nível Equivalente Sonoro representa o nível do ruído contínuo o qual as pessoas podem ficar expostas.

3.4.2 Normas para NPS permissíveis

Este estudo abordará duas normativas, as quais se referem à NPS permissíveis no zoneamento urbano. O plano diretor da cidade de Maringá – PR traz a Lei Orgânica Municipal nº 218/98, que apresenta os parâmetros de NPS permissíveis na área urbana, a mesma dispõe sobre o controle, fiscalização e punição para atividades geradoras de poluição sonora. O Quadro 2, apresenta os NPS permissíveis para cada zona de uso da cidade em estudo.

Quadro 2 - NPS permissíveis

ZONAS DE USO	DIURNO dB(A)	NOTURNO dB(A)
Zona Especial – ZE	55	45
Zonas de Proteção Ambiental – ZPA		
Zonas Residenciais – ZR		
Eixos Residenciais – ER		
Zona Central – ZC	60	50
Eixos de Comércio e Serviços – ECS		
Terminal de Transportes – TT		
Central de Abastecimento – CA		
Zona Industrial 1 - ZI-1	65	55
Av. Colombo, Anel Viário Prefeito Sincler Sambatti e vias de acesso.		
Zona de Comércio Atacadista – ZCA		
Demais Zonas Industriais	70	60

Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE MARINGÁ (1998)

A norma brasileira que estabelece procedimentos referentes ao controle de ruído é a NBR 10151 (Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade)

emitida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2000). O Quadro 3, apresenta os níveis de pressão sonora permissíveis segundo a norma.

Quadro 3 – NPS permissível para ambientes abertos.

TIPOS DE ÁREA	DIURNO dB(A)	NOTURNO dB(A)
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: ABNT (2000)

3.5 Modelagem e treinamento da rede *neuro-Fuzzy*

Na elaboração da rede foram necessários dois conjuntos dos dados coletados para a entrada e um deles para a saída. Dos dez dias coletados, cinco dias foram usados para treinar a rede (50% dos dados totais), três dias para testar a rede (30% dos dados totais) e outros dois dias para a checagem da rede (20% dos dados totais).

Os dados de entrada foram a velocidade média da via e a quantidade total de automóveis na via, ou seja, a soma do número de veículos leves, pesados e motocicletas dos horários monitorados.

Os dados de saída foram formados pelo *Leq* calculado através da equação com os valores fornecidos pelo sonômetro.

Para a construção da rede foi utilizado o software MATLAB (MATrix LABoratory). O software possui uma ferramenta específica para a geração, treinamento e teste de redes *neuro-Fuzzy*: o ANFIS Editor.

De acordo com Ferreira (2017) o MATLAB trabalha com a integração entre análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos em um ambiente interativo e de fácil uso.

4. Resultados e Discussões

Consoante o objetivo deste artigo – a estruturação de uma rede *neuro-Fuzzy* para a previsão do ruído de tráfego – e, de acordo com a metodologia apresentada, neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos a partir das medições feitas e da elaboração da rede *neuro-Fuzzy*.

4.1 Apresentação e análise dos dados coletados

Neste tópico serão apresentados os dados utilizados na elaboração da rede *neuro-Fuzzy*.

4.1.1 Apresentação e análise dos dados totais de automóveis

Para efeito de adequação aos cálculos foi necessária a junção do número total de veículos (veículos leves, pesados e motocicletas) em um valor total final. A Tabela 1, para melhor compreensão do campo de estudo, mostra a quantidade total de veículos por período:

Tabela 1 - Quantidade total de veículos

Período	Quantidade total de veículos	Dia
P1	1003	
P2	678	Dia 1
P3	757	
P1	941	
P2	675	Dia 2
P3	676	
P1	936	
P2	683	Dia 3
P3	681	
P1	896	
P2	716	Dia 4
P3	714	
P1	884	
P2	705	Dia 5
P3	680	
P1	986	
P2	837	Dia 6
P3	759	
P1	903	
P2	708	Dia 7
P3	681	
P1	907	
P2	693	Dia 8
P3	782	
P1	834	
P2	712	Dia 9
P3	701	
P1	856	
P2	722	Dia 10
P3	717	

Fonte: Autoria Própria (2018)

Na Tabela 1 é possível verificar a predominância da quantidade total de veículos no período P1 (07h:45min até 08h:00). Nesse horário, que antecede o início do horário comercial, que ocorre as 08h:00, o volume absoluto de veículos foi superior aos demais períodos em todos os dias observados. Essa predominância se deve ao fato de muitas pessoas se deslocarem para o trabalho e compromissos em um mesmo horário, porém retornarem por outras rotas ou em horários distintos para suas casas.

Tabela 3 - Veículos por dia da semana

Dia da Semana	Quantidade total de veículos observada
Segunda - feira	2438
Terça-feira	2292
Quarta-feira	2300
Quinta-feira	2326
Sexta-feira	2269
Segunda - feira	2582
Terça-feira	2292
Quarta-feira	2382
Quinta-feira	2247
Sexta-feira	2295

Fonte: Autoria Própria (2018)

Na Tabela 3, a quantidade total de veículos observada durante os dez dias de estudo pode ser analisada. A diferença entre os números mais relevante é o número total de veículos nas segundas-feiras em relação aos demais dias da semana. Esse aumento supõe-se existir pela quantidade de pessoas que vêm a Maringá ou a outras cidades da região metropolitana e se deslocam de volta para suas cidades na manhã de segunda ou, ainda, que chegam durante o final da semana e agendam seus compromissos, na região, para a segunda-feira. Nos demais dias não houve alteração significativa do volume total de veículos.

4.1.2 Apresentação do *Leq* observado em cada período

O nível sono equivalente (*Leq*) calculado a partir da Equação 1, por período estudado, é apresentado na Tabela 4 .

Tabela 4 - *Leq* por período

Dia	Período	<i>Leq</i>(dB(A))
1	P1	67.18
	P2	65.65
	P3	68.91
2	P1	67.28
	P2	65.67
	P3	68.92

3	P1	67.17
	P2	65.75
	P3	68.94
4	P1	68.53
	P2	63.34
	P3	65.48
5	P1	69.32
	P2	65.08
	P3	63.51
6	P1	69.80
	P2	66.37
	P3	66.51
7	P1	66.46
	P2	67.02
	P3	66.92
8	P1	67.01
	P2	64.81
	P3	66.07
9	P1	65.70
	P2	64.01
	P3	65.04
10	P1	68.59
	P2	65.10
	P3	64.23

Fonte: Autoria Própria (2018)

Como podem ser observados na Tabela 4, os valores de *Leq* são maiores nos períodos P1 de cada dia, na maioria dos dias. Isso se deve a maior presença de veículos observados demonstrada na tabela anterior. Na maioria dos outros dias houve um *Leq* maior no período P3 se comparado ao período P2, o que também se associa à maior quantidade de veículos observados nas medições.

4.1.3 Apresentação e análise dos dados usados na rede neuro-fuzzy

Para uma melhor compreensão da previsão do volume sonoro gerado pelo trânsito nos períodos de pico do tráfego, foi realizada uma análise dos dados coletados, compostos pela quantidade total de veículos no período, da velocidade observada no aplicativo Waze e do *Leq* calculado pelas medições efetuadas. A totalidade dos dados está exposta na tabela abaixo.

Tabela 5 - Dados usados na elaboração da rede *neuro-fuzzy*.

Data	Dia da Semana	Período	Quantidade total de veículos	Velocidade (km/h)	<i>Leq</i> (dB(A))
20/ago	Segunda-feira	P1	1003	9.4	67.18
		P2	678	25	65.65

		P3	757	13.7	68.91
21/ago	Terça-feira	P1	941	8.5	67.28
		P2	675	25	65.67
		P3	676	17	68.92
		P1	936	7.5	67.17
22/ago	Quarta-feira	P2	683	24	65.75
		P3	681	17	68.94
		P1	896	8.25	68.53
23/ago	Quinta-feira	P2	716	60	63.34
		P3	714	43	65.48
		P1	884	5	69.32
24/ago	Sexta-feira	P2	705	60	65.08
		P3	680	7.7	63.51
		P1	986	6	69.80
27/ago	Segunda-feira	P2	837	20	66.37
		P3	759	14	66.51
		P1	903	9	66.46
28/ago	Terça-feira	P2	708	8	67.02
		P3	681	8	66.92
		P1	907	6	67.01
29/ago	Quarta-feira	P2	693	22	64.81
		P3	782	8	66.07
		P1	834	6	65.70
30/ago	Quinta-feira	P2	712	26	64.01
		P3	701	11	65.04
		P1	856	9	68.59
31/ago	Sexta-feira	P2	722	21	65.10
		P3	717	7	64.23

Fonte: Autoria Própria (2018)

Dentre os dados da tabela, e sendo o ponto de coleta classificado como área mista, predominantemente comercial de acordo com ABNT (2000), os valores de *Leq* ultrapassaram o NPS permissível, que é de 55 dB(A) para o período diurno, em todos os períodos. Na maioria das observações, inclusive, o *Leq* atingiu valores recomendados para áreas predominantemente industriais, ou seja, próximos a 70 dB(A).

O período P1 foi sempre o responsável pelo maior *Leq*, seguido, na maioria dos dias, pelo P3 e pelo P2 (que possui o menor *Leq* na maioria das observações).

Uma grande quantidade de carros acompanhada de uma diminuição da velocidade da via é uma das hipóteses para o aumento do *Leq*. Há de se considerar, também, que o ponto de observação está localizado em uma esquina. Cruzamento de ruas movimentadas, o ponto é muito próximo a um semáforo, o que interfere na coleta de dados, já que os carros ficam por

mais tempo produzindo som e mais medições com altos valores são efetuadas pelo sonômetro e, conseqüentemente, alterando o valor do *Leq*.

Também há de se considerar que enquanto os carros estão parados no semáforo, a via de sentido contrário da Avenida Colombo está em movimento e com carros que não foram contabilizados no presente estudo. O mesmo acontece com os outros veículos, que saem da Rua Deputado Ardinial Ribas enquanto o semáforo da Avenida Colombo está fechado.

4.2 Rede Neuro-Fuzzy

Nos subtópicos a seguir, apresenta-se a estruturação da rede *neuro-Fuzzy*.

4.2.1 Treinamento da rede Neuro-Fuzzy

Os dados utilizados para a elaboração da rede *neuro-Fuzzy* foram:

- a) A quantidade total de veículos observada no período;
- b) A velocidade média observada no aplicativo durante o período e no local de medição;
- c) O *Leq* calculado a partir das medições do sonômetro no período.

A elaboração da rede necessita de três conjuntos de dados: o primeiro para o treinamento da rede, o segundo para o teste e o terceiro conjunto para checar a rede construída.

A partir dos 10 dias de observação foi definida a seguinte divisão dos conjuntos:

- a) A primeira semana, com cinco dias de observação (20 a 24/08), foi destinada ao treinamento da rede;
- b) O teste da rede *neuro-Fuzzy* foi efetuado utilizando-se o conjunto de dados formado pelas medições dos 3 primeiros dias da segunda semana de observação (27 a 29/08);
- c) A checagem da rede foi feita com os 2 dias finais da medição (30 e 31/08);
- d) Assim, ficaram destinados 50% dos dados para treinamento da rede, 30% para o teste da rede e os 20% restantes para a checagem;

Na elaboração da rede o *software* utilizado foi o MATLAB. Dentre as ferramentas contidas no programa está a *Neuro-Fuzzy Designer* que foi utilizada na geração da rede do modelo ANFIS.

Na construção da rede, o *software* gera uma rede do tipo Sugeno, que usa regras do tipo *IF-THEN* na execução de uma função de mapeamento fazendo uma combinação das entradas e saídas.

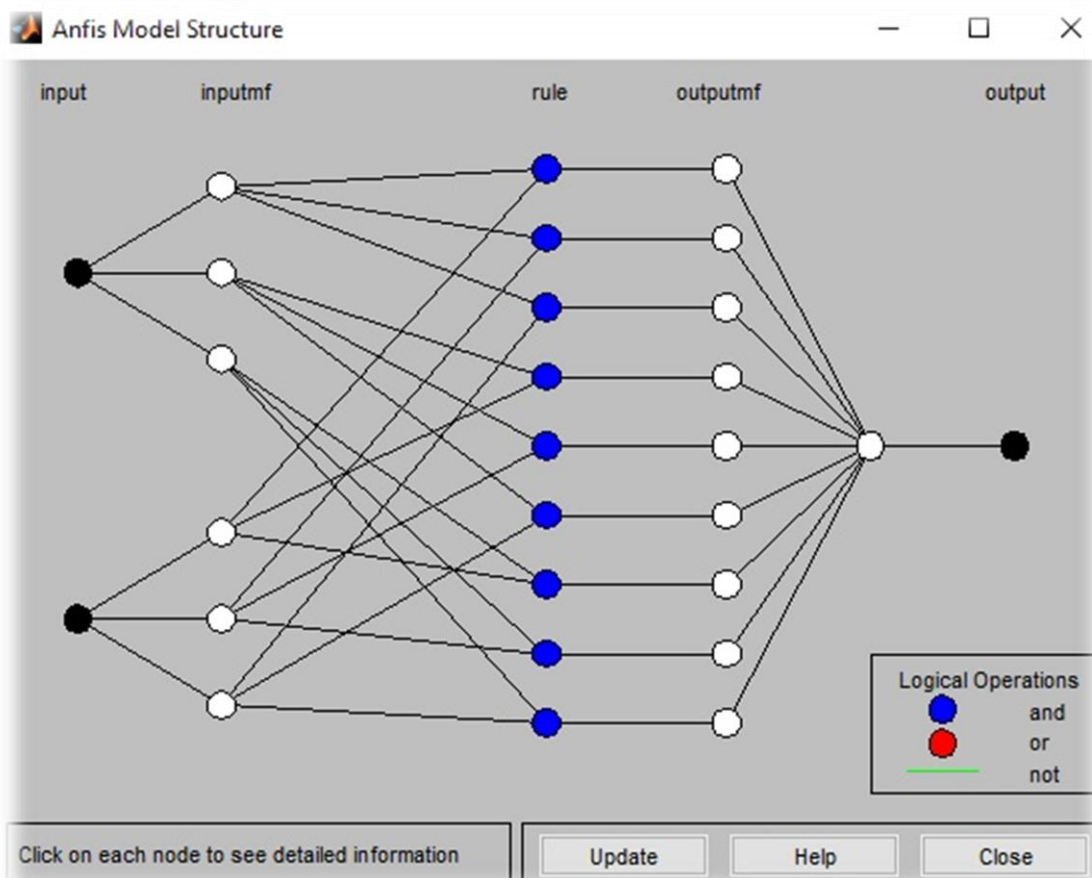
A geração da ANFIS foi realizada escolhendo-se a partição do espaço de entrada pelo modo *grid partition*. Nesse modo, as funções de pertinência provêm diretamente da partição do espaço de entrada. Uma FIS do tipo Sugeno é gerada.

No treinamento da rede o modo de otimização híbrido foi escolhido, ele combina os métodos de mínimos quadrados e retro propagação.

O erro de tolerância escolhido foi de 0,01 e o número de épocas, que é a quantidade de iterações para obtenção do resultado, foi 50. Essas duas definições limitam o treinamento da rede. A que for atingida por primeiro cessará o processo de treinamento.

A Figura 7 mostra a estrutura da rede gerada.

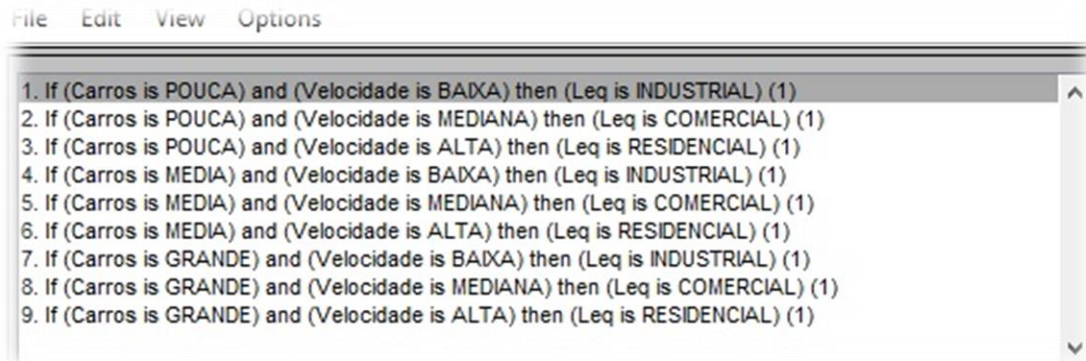
Figura 7 - Estrutura da rede formada.



Fonte: Autoria Própria (2018)

Ao se analisar a Figura 7, as entradas da rede (*input*) são formadas por duas variáveis (quantidade total de automóveis e velocidade média). Cada uma das entradas possui três funções de pertinência. Na camada seguinte estão representadas as regras inferenciais, que são nove. As funções de pertinência de saída estão representadas pelo termo *outputmf* seguidas pela saída da rede (*output*). Na Figura 8, podem ser observadas as regras criadas.

Figura 8 - Regras da rede *neuro-Fuzzy*



Fonte: Autoria Própria (2018)

As regras foram formuladas dentro do próprio *software*. As redes do tipo Sugeno são formadas por regras do tipo *IF-THEN* (Se – Então).

Como pode ser observado na Figura 7 existem duas variáveis FIS de entrada na rede: a quantidade de veículos e a velocidade do fluxo de veículos.

A quantidade total de veículos foi dividida em 3 funções de pertinência através de uma divisão simples do tamanho do grupo observado. O menor valor encontrado para um período foi de 675 veículos e o maior foi de 1003 veículos. Os níveis foram estimados em:

- Pouca: de 600 até 750 carros;
- Média: de 751 a 900 carros;
- Grande: de 901 a 1050 carros.

Para a definição das funções de pertinência das velocidades, como a velocidade máxima permitida na via é de 60 km/h, convencionou-se a seguinte divisão levando em consideração que o estudo foi realizado em horário de pico e, portanto, os veículos estão a maior parte do tempo mais lentos:

- Baixa: de 0 km/h a 15km/h;
- Mediana: de 16 km/h a 30km/h;
- Alta: de 31 km/h a 60 km/h.

Para a classificação das saídas, que fornecem o *Leq* previsto, utilizou-se o padrão ABNT (2000), mostrado no Quadro 3, e demonstrado abaixo:

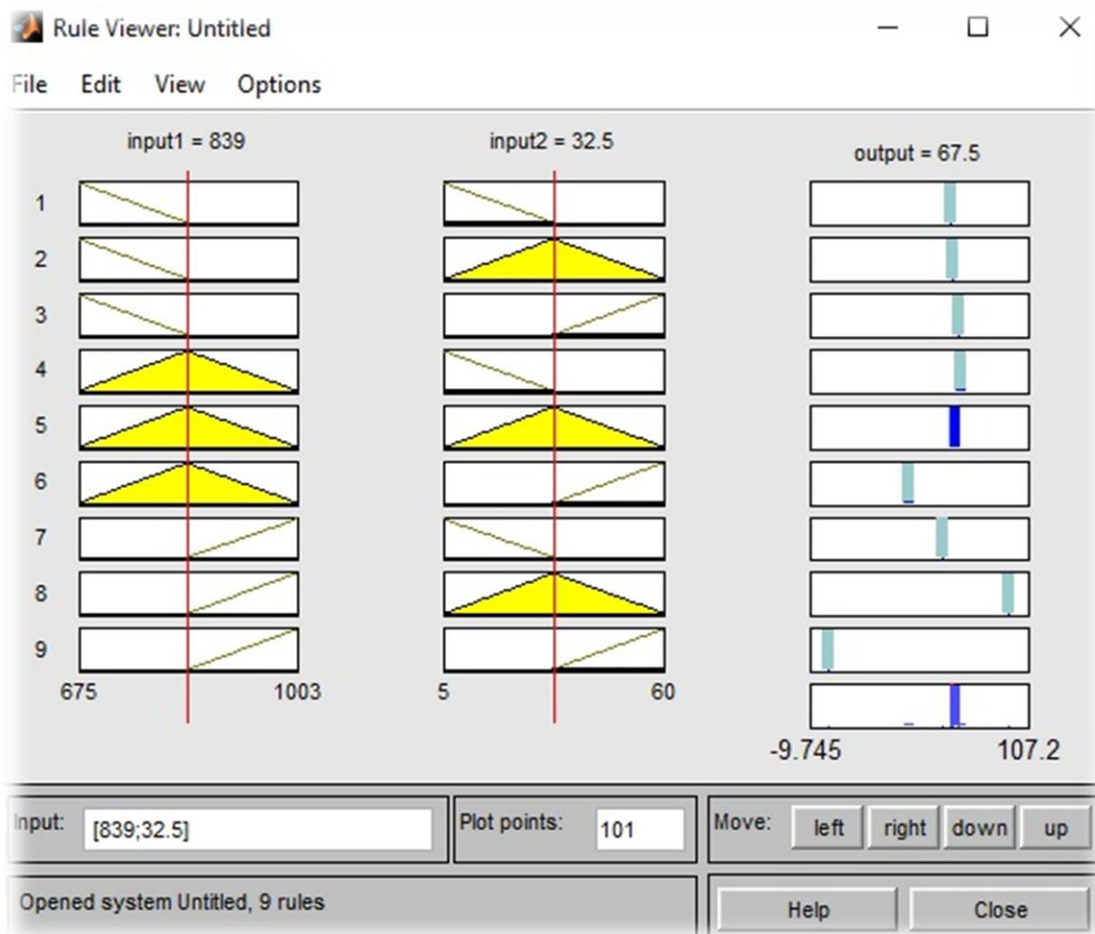
- Residencial: de 55 a 60 dB(A);
- Comercial: de 61 a 65 dB(A);
- Industrial: de 66 a 70 dB(A).

Como exemplo do funcionamento das regras, tome-se a regra 1: Se a quantidade de carros é pouca e a velocidade é baixa, então espera-se que o *Leq* seja do patamar industrial.

A última regra da Figura 8 determina: Se a quantidade de carros é grande e a velocidade é alta, então o *Leq* deve estar no patamar residencial.

As regras podem ser visualizadas através de outra ferramenta do software, o *Rule Viewer* e estão representadas na Figura 5.

Figura 9 - Regras pelo Rule Viewer



Fonte: Autoria Própria (2018)

O *Rule Viewer* mostra um mapa de todo o processo de inferência. Cada um das linhas representa uma regra e cada coluna representa uma variável do modelo.

As duas primeiras colunas representam a parte antecedente do sistema. São as regras IF. Já a terceira coluna corresponde a parte THEN do sistema, os consequentes.

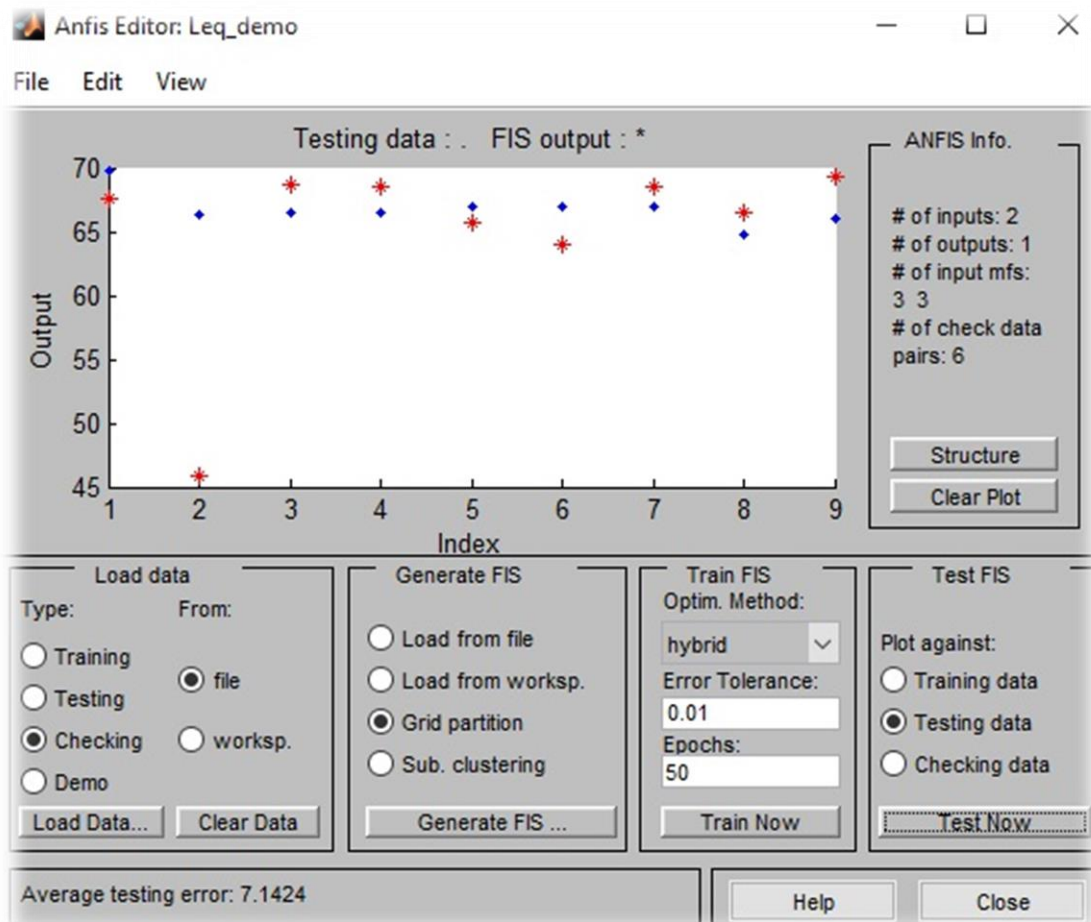
Na Figura 9 *input1* é a variável que representa a quantidade total de veículos, *input2* a velocidade média no período analisado e *output* o *Leq* esperado.

A Figura 9 demonstra que para uma quantidade total de carros de 839 a velocidade média observada seria de 32.5 km/h e o *Leq* de saída de 67.5 dB(A).

4.2.2 Validação da Rede Neuro-Fuzzy

Após a inserção dos dados de treinamentos, os dados de teste foram inseridos e retornaram os seguintes resultados:

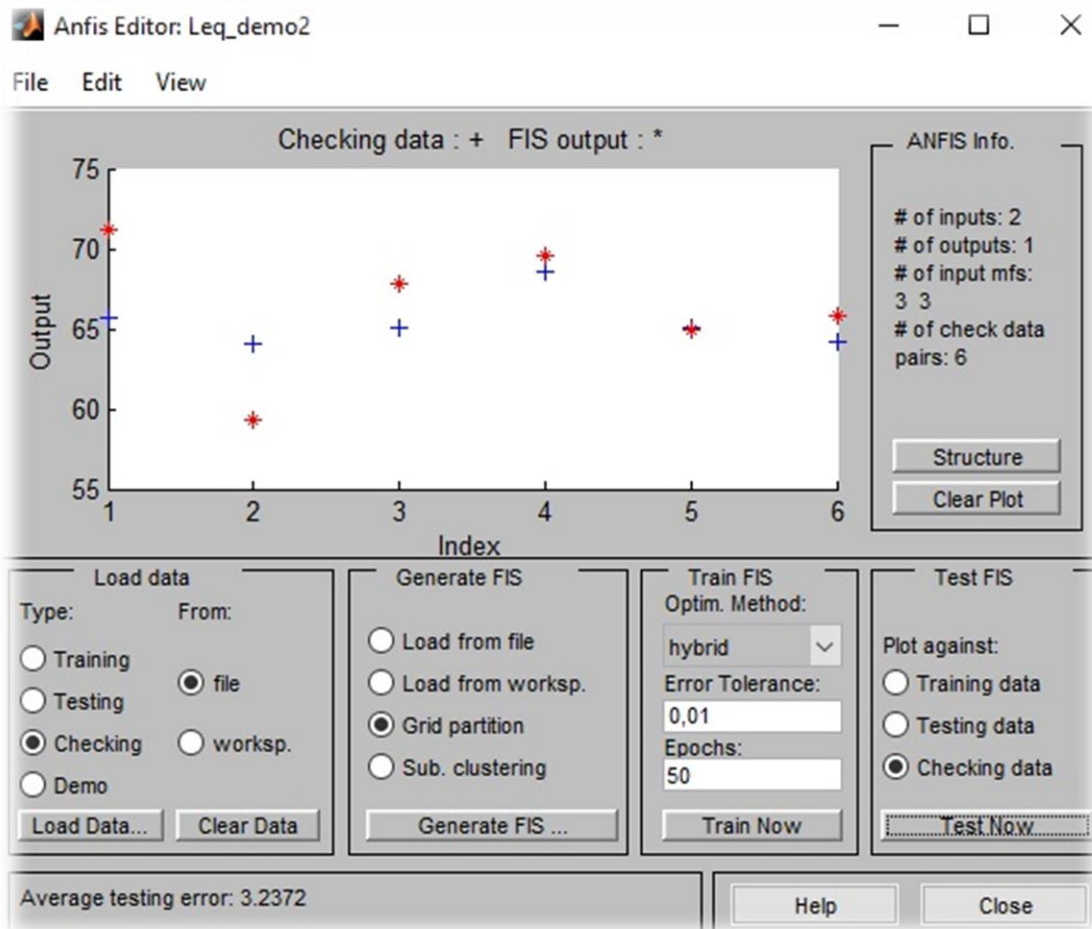
Figura 10 - Dados de teste comparados aos dados de treinamento da rede.



Fonte: Autoria Própria (2018)

Como é possível ser verificado na Figura 10, os dados de treinamento (pontos azuis) estão muito próximos dos valores de teste (pontos em vermelho) especialmente quando se comparam em relação à escala dos valores de saída representada pelo eixo esquerdo (*output*). A média de erro fornecida pelo software foi de 7.1424 O passo seguinte foi adicionar à rede o conjunto de dados escolhidos para a checagem da rede e os resultados podem ser vistos na Figura 11.

Figura 11 - Dados de checagem comparados aos dados obtidos do treinamento da rede.



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Pela checagem dos dados pode-se observar que os valores gerados pela ANFIS estão muito próximos dos valores do treinamento. O erro médio encontrado foi de 3.2372, menor do que o erro de teste da rede, o que a aproxima ainda mais da coerência do modelo gerado.

Por ter sido validado e encontrado resultados satisfatórios o modelo pode ser reproduzido para auxiliar o planejamento urbano e o monitoramento de ruído de tráfego desde que as condições de contorno sejam semelhantes.

Logo, neste estudo, para a formação da rede são necessários 3 tipos de dados: a quantidade total de veículos por período, a velocidade média dos veículos no período e o *Leq* calculado à partir das medições feitas no período.

O modelo pode ser utilizado pelos órgãos públicos para o planejamento de novas vias para que reduzam a quantidade de ruído de tráfego e proporcionem assim, à população, menor poluição sonora. O ponto de coleta encontra-se ao lado de um colégio estadual e de uma universidade. Então, menores níveis de poluição sonora são aconselháveis nesses locais para que não prejudiquem a concentração dos alunos.

Também os resultados aqui encontrados podem ser utilizados para o planejamento de unidades residenciais que desejam fazer blindagens sonoras para maior conforto acústico dos seus moradores.

Portanto, os resultados demonstrados nesse artigo comprovam a eficácia da rede *neuro-Fuzzy* na previsão do volume sonoro gerado pelo trânsito e podem ser reproduzidos em outros locais ou mesmo em cidades de porte semelhante ao maringaense.

5. Considerações Finais

Após a análise do *Leq* de cada período e tendo como base os dados do volume do tráfego e da velocidade média do local de medição, foi possível identificar em qual dos períodos é mais frequente um maior volume sonoro e em quais eles ultrapassavam as recomendações da ABNT e do NIS recomendado pelo município.

Partindo-se dos dados coletados estruturou-se uma rede *neuro-Fuzzy* que após ser treinada, testada e checada apresentou resultados positivos e coerentes para um modelo de predição de volume sonoro gerado pelo tráfego. Os resultados apresentados pela rede foram muito próximos aos valores reais inseridos tornando o resultado final satisfatório.

A utilização da rede híbrida neural propiciou maior fidelidade ao modelo, pois proporcionou o reconhecimento dos padrões nos dados inseridos na rede e permitiu um aprendizado da mesma.

Sendo o resultado satisfatório, o modelo se encontra apto a ser utilizado por outras cidades de porte semelhante ao de Maringá, ou mesmo em outros estudos similares. Também, por empresas ou aplicativos que desejem ter como saída de dados um *Leq* previsto pelos dados de entrada similares aos usados nesse estudo.

Dentre as dificuldades encontradas no modelo destaca-se a de não poder estratificar o valor total de carros em: motocicletas, veículos leves e veículos pesados. A ferramenta permitia a entrada de, no máximo, duas variáveis e então foi necessário o uso do volume total de veículos contabilizado no período.

Aconselha-se para trabalhos futuros, maiores conjuntos de dados para que possam ser encontrados modelos com erros médios menores. Também se aconselha que sejam formulados modelos separados para que se possa realizar um estudo da interferência no volume sonoro total da quantidade de motocicletas e veículos pesados, como ônibus e caminhões.

Outro tipo de estudo também poderia ser realizado em dias atípicos, como sábados, domingo e feriados ou mesmo dias chuvosos. Dias, esses, desconsiderados nesse trabalho.

Referências

AKKOÇ, S. Na empirical comparison of conventional techniques, neural networks and the three stage hybrid Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) model for credit scoring analysis: The case of Turkish credit card data. **European Journal of Operational Research**, v.222, p. 168-178, 2012.

ANDERSON, G. S. *et al.* FHWA traffic noise model, version 1.0: introduction to its capacities and screen components.. **The Wall Journal**. [s.l.], p. 14-17. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento**. Rio de Janeiro 2000.

BARBOSA, André Luiz Sousa. **Estudo de Barreiras Acústicas para a Atenuação do Ruído Aeronáutico no Aeroporto de Congonhas em São Paulo**. 2015. 346 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2ª. Ed. São Paulo: Blucher, 2011

BROWNE, M.; PIETROWSKA, M.; WOODBURN,.; ALLEN, J. Literature review WM9: Part I-Urban freight transport. **Green Logistics Project. University of Westminster, London**, 2007.

CAMMARATA G; CAVALIERI S; FICHERA A. A neural network architecture for noise prediction. **Neural Networks**, v.8, 1995.

FERREIRA, Tamires Soares. **UTILIZAÇÃO DE UMA REDE NEURO FUZZY PARA PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DO TRÁFEGO VEICULAR URBANO EM CIDADES DE MÉDIO PORTE**. 2017. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017.

GALLOWAY, W. J. *et al.* Urban highway noise: measurement, simulation, and mixed reactions. **Nchrp Report**, [s.l.], p. 78. 1969.

GARG, Naveen; MAJI, Sagar. A critical review of principal traffic noise models: Strategies and implications. **Environmental Impact Assessment Review**, [s.l.], v. 46, p.68-81, abr. 2014.

GERGES, Samir. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GIVARGIS, Sh.; KARIMI, H.. A basic neural traffic noise prediction model for Tehran's roads. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 91, n. 12, p.2529-2534, dez. 2010.

HANDBOOK of acoustic noise control: WADC technical report. Wright Air Development Center: [s.e], 1952.

HAYKIN, S. **Redes Neurais** – princípios e prática. 2ª ed. Bookman: Porto Alegre, 2001.

HIGHWAY noise: a design guide for prediction and control - National Cooperative Highway Research Program Report 174. National Cooperative Highway Research Program Report 174. Washington: Transportation Research Board, 1976.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996/2**: Acoustics: Description and measurements of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use, 1996/2. Suíça, 1987. 7p.

JOHNSON, D. R.; SAUNDERS, E. G.. The evaluation of noise from freely flowing road traffic. **Journal Of Sound Vibration**. [s.l.], p. 287-309. 1962.

KAHRAMAN, C. (Ed.). **Fuzzy Multicriteria Decision Making-Theory and Applications with Recent Developments**. Springer Science: Turkey, 2008.

KUMAR, Kranti; PARIDA, Manoranjan; KATIYAR, Vinod K.. Road Traffic Noise Prediction with Neural-Networks - A Review. **An International Journal Of Optimization And Control: Theories & Applications**. Istanbul, p. 29-37. dez. 2011.

LAMURE C. Niveaux de bruit au voisinage des autoroutes. In: Fifth International Congress on Acoustics, 1965. [s.l.]. **Proceedings...**[s.l.]:[s.e]., 1965.

LIMA JUNIOR, Francisco Rodrigues. **Avaliação da adequabilidade de redes neurais artificiais e sistemas neuro-Fuzzy no apoio a previsão de desempenho de cadeias de suprimento baseada no SCOR**. 2016. 299 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

MORILLAS, J. M. B. Escobar V. Gómez, Sierra, J. A. M.; Vílchez-Gómez, R.; Carmona, J. T. **An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain**. Applied Acoustics, 2002, n. 63, p. 1061-1070.

MORSE P.M, INGARD K.U. **Theoretical acoustics**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1968.

NEDIC, Vladimir *et al.* Comparison of classical statistical methods and artificial neural network in traffic noise prediction. **Environmental Impact Assessment Review**, [s.l.], v. 49, p.24-30, nov. 2014.

NICKSON, A. F.. Can community reaction to increased traffic noise be forecast? In: FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, 1965, [s.l.]. **Proceedings...** [s.l.]: [s.e]., 1965.

ONU - United Nations Organization (Ed.). **2018 Revision of World Urbanization Prospects**. 2018. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>>. Acesso em: 16 set. 2018.

PARENTE, Leylane Alves; MELO, Patrícia Gonçalves Silva de. Logística urbana: o planejamento como ferramenta de gestão para mobilidade urbana no município de Boa Vista - RR. **Revista Multidisciplinar Pey Keyo Científica**, Manaus, v. 6, n. 5, p.35-50, mar. 2016.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **Fuzzy Systems Engineering** – Toward Human-Centric Computing. John Wiley & Sons: New Jersey, 2007.

RAMIREZ, A.; DOMÍNGUEZ, E., 2013. Modeling urban traffic noise with stochastic and deterministic traffic models. **Applied Acoustics**, v. 74, n. 4, p. 614-621.

RAMOS, P. G. **Uma investigação das redes Neuro-Fuzzy aplicadas à mineração de dados**. Trabalho de Graduação (Graduação).Universidade Federal de Pernambuco, Recife,1999. Disponível em: <www.di.ufpe.br/~tg/1999-1/pgr.doc>.Acessoem: 05 set. 2018.

RATHE, e . J.. Note on two common problems of sound propagation. **Journal Of Sound Vibration**. [s.l.], p. 472-479. out. 1969.

SANTOS, A. V. N.; FELIX, L. B.; VIEIRA, J. G. V. Estudo da logística de distribuição física de um laticínio utilizando lógica *Fuzzy*. In: V ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (EMEPRO). **Anais...** Viçosa: EMEPRO, 2009.

SHARMA, Asheesh *et al.* Adoptive Neuro-*Fuzzy* Inference System for Traffic Noise Prediction. **International Journal Of Computer Applications**, [s.l.], p. 75-87. jul. 2014.

SILVA, I. N.; SPATI, D. H.; FLAUZINO, R. A. 2010. **Redes Neurais Artificiais: para engenharia e ciências aplicadas**. São Paulo: Artliber, 2010. 399 p.

SOUSA, J. N. P. **Aplicação de lógica *Fuzzy* em sistemas de controle de tráfego metropolitano em rodovias dotadas de faixas exclusivas para ônibus**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.afonseca.eng.br/aulas/artigos/Fuzzy/2005%20-%20DISSERTACAO-COPPE%20-%20sousa%20-%20tráfego%20em%20linha%20de%20onibus%20.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

SOUSA, J. N. P. **Aplicação de lógica *Fuzzy* em sistemas de controle de tráfego metropolitano em rodovias dotadas de faixas exclusivas para ônibus**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.afonseca.eng.br/aulas/artigos/Fuzzy/2005%20-%20DISSERTACAO-COPPE%20-%20sousa%20-%20tráfego%20em%20linha%20de%20onibus%20.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

STEELE, C. M.. A mathematical model of the environmental impact of traffic noise. In: . AUSTRALIAN ACOUSTICAL SOCIETY 1985 CONFERENCE, 1985, [s.l.]. **Proceedings...** . [s.l.]. 1985.

STEELE, Campbell. A critical review of some traffic noise prediction models. **Applied Acoustics**, [s.l.], v. 62, n. 3, p.271-287, mar. 2001.

TAKAGI, T.; SUGENO, M. *Fuzzy* Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. **IEEE Transactions, Man and Cybernetics**, v.15, p.116-132, 1985.

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G.; YAMADA, T. (2003) “Visions for City Logistics”. In: **The 3rd International Conference on City Logistics**. Madeira, Portugal.

VACCARI, L. R.; FANINI, V. **Série de cadernos técnicos: Mobilidade urbana**. Disponível em: <www.crea-pr.org.br>. Acesso em 10 jset. 2018

VELLASCO, M. M. B. R. **Redes neurais artificiais**. Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www2.ica.ele.puc-rio.br/Downloads%5C33/ICA-introdu%C3%A7%C3%A3o%20RNs.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018

ZADDEH, L. A. *Fuzzy sets*. **Information and Control**, 8 ed. P.338–353, 1965.

ZANNIN, P.; CALIXTO, A.; DINIZ, P.; FERREIRA, J.;SCHUHLLI, R. Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba, PR. **Revista Saúde Pública**. v.36(4), p.521-524, 2002.

ZIMMERMANN, H. J. ***Fuzzy set theory and its applications***. 2. Ed. Boston: Kluwer Academic, 1991.