

## Uso de Redes Neurais Artificiais para Filtragem de Ondas Sonoras Não Radiantes em Superfícies Vibrantes

**Luís Filipe P. Perrú\***      **Cleber de A. Corrêa Junior**      **Rosilene A. Portella Corrêa**

Depto de Ciências Exatas, Biológicas e da terra, INFES, UFF,  
28470-000, Santo Antônio de Pádua, RJ

E-mail: luis.filipe1993@hotmail.com    cleberacj@id.uff.br,    rosileneportella@id.uff.br

**Roberto Aizik Tenenbaum**

Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional, IPRJ, UERJ,  
28630-050, Nova Friburgo, RJ

E-mail: ratenenbaum@gmail.com

### RESUMO

Este trabalho utiliza a modelagem computacional no estudo do fenômeno da radiação acústica de superfícies vibrantes, mais especificamente a identificação de fontes sonoras, área que possui inúmeras aplicações. Dentre elas, a melhoria acústica de produtos ou equipamentos ruidosos como, por exemplo, compressores de ar, ventiladores, máquinas de lavar, dentre outros em que o ruído é um algo indesejado. Diversas indústrias, como a automobilística e de eletrodomésticos, tem investido nos últimos anos em tecnologias que deixem seus produtos mais atrativos do ponto de vista acústico.

Nesse contexto, é de fundamental importância um método que identifique as regiões de uma superfície vibrante que realmente contribuem para a potência sonora que será radiada, permitindo ao fabricante tomar as providências enquanto seu produto encontra-se na fase de testes. Uma técnica como essa existe e foi criada por [3], denominada intensidade supersônica (IS). A IS é uma grandeza que considera somente as componentes de onda que radiam para o campo distante, removendo as componentes evanescentes e que sofrem cancelamento. Através desse método tem-se o pleno conhecimento das regiões efetivamente radiantes de uma superfície vibrante. Entretanto, o método só se aplica a superfícies muito específicas, ditas superfícies separáveis.

Recentemente, um método numérico equivalente a IS foi proposto por [1], dando origem a intensidade acústica útil, ou simplesmente, intensidade útil (IU), grandeza que identifica as regiões radiantes em superfícies vibrantes de geometrias arbitrárias. O modelo proposto é mais direto do que os métodos numéricos existentes, pois é totalmente formulado na superfície vibrante, com sua formulação partindo da equação integral de Kirchoff-Helmholtz (ver [1] para maiores detalhes), dada por:

$$c\hat{p}(X, \omega) = \int_{\Gamma} \left( i\omega\rho_0\hat{v}_n(X_s, \omega)G(X_s|X) - \hat{p}(X_s, \omega)\frac{\partial G(X_s|X)}{\partial n_s} \right) d\Gamma, \quad (1)$$

A distribuição da velocidade normal à superfície é obtida com o uso do método de elementos finitos, e depois então relacionada com a potência sonora radiada através de um operador (uma matriz) obtido com o uso do método dos elementos de contorno na Eq. (1). Tal operador, denominado de operador de potência, é Hermitiano, dessa forma, seus autovetores formam uma base ortonormal para essa distribuição de velocidade. Este fato é crucial para a obtenção da intensidade acústica útil, após a aplicação da decomposição em autovalores e autovetores no operador de potência, e do critério de

---

\*bolsista de Iniciação Científica PIBIC/UFF

truncamento proposto para a série desenvolvida por [1]:

$$\Pi = \sum_{i=1}^r \lambda_i \langle \hat{v}_n^H, V_i \rangle \langle V_i^H, \hat{v}_n \rangle \approx \sum_{i=1}^{r_c} \lambda_i \langle \hat{v}_n^H, V_i \rangle \langle V_i^H, \hat{v}_n \rangle, \quad (2)$$

com  $r_c \leq r$ , onde  $r_c$  é uma quantidade suficiente,  $\lambda_i$ , de autovalores retidos (Ver [1] para maiores detalhes).

O objetivo desse estudo é produzir um critério automático que forneça o ponto de truncamento,  $r_c$ , para diferentes situações/geometrias. Para tanto, utiliza-se redes neurais artificiais (RNA), uma técnica baseada no sistema neural humano. Unidades de processamento denominadas neurônios conectados através de pesos sinápticos formam uma rede que reconhece padrões muitas vezes ocultos a percepção humana. Neste trabalho foi usado o algoritmo Backpropagation com momentum e taxa de aprendizagem adaptativa. Trata-se de um algoritmo de aprendizado supervisionado em que a rede "aprende" com os padrões que lhe são fornecidos [2], isto é, os pesos sinápticos são adaptados a partir do algoritmo proposto, normalmente fornecendo uma melhor conexão entre os neurônios a cada nova interação. Em determinado momento, os dados processados aproximam-se dos padrões de saída e a rede adquire autonomia para realizar previsões.

A RNA fornece como resultado um ponto  $r_c$  situado na região de truncamento para superfícies vibrantes com a geometria de placa retangular. Em 100% dos ensaios numéricos realizados a RNA conseguiu indicar um  $r_c$  adequado para a série (2), preservando, como esperado, o valor da potência sonora. Apresenta-se abaixo o resultado da obtenção da intensidade útil com o uso da RNA para o truncamento. Utilizou-se uma placa de dimensão 2m por 2m, excitada na frequência de 533.58 Hz. O não uso do truncamento resulta na utilização de todos os autovalores (dando origem a intensidade acústica convencional), em outras palavras, no uso de todos os pontos da malha, que nesse caso foi 961, e com o uso do truncamento foi de apenas 31 pontos. Ambas as intensidades obtiveram uma potencia sonora de 54,6 dB.

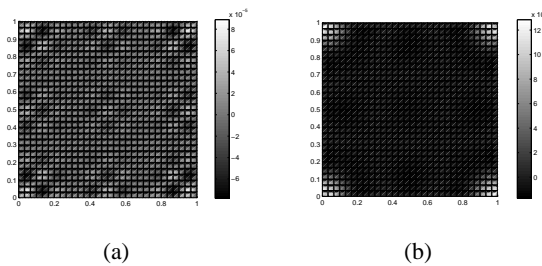


Figura 1: (a) Intensidade acústica convencional (watts/m<sup>2</sup>). (b) Intensidade útil (watts/m<sup>2</sup>).

Atualmente, alguns testes com a RNA são feitos para verificar sua precisão em prever o ponto de truncamento para uma superfície em forma de um cilindro com tampas, geometria não tratada pelo método desenvolvido por Williams. Posteriormente, o objetivo é testá-la em uma superfície mais complexa e realística como, por exemplo, um compressor.

**Palavras-chave:** *Intensidade Útil, Intensidade Supersônica, Acústica, Redes Neurais Artificiais*

## Referências

- [1] C.A. Corrêa Junior, R.A. Tenenbaum, "Useful intensity: A technique to identify radiating regions on arbitrarily shaped surfaces". *Journal of Sound and Vibration*, 332, 1567–1584, 2013.
- [2] S. Haykin, "Redes Neurais – Princípios e práticas", *Bookman*, Brasil, 2000.
- [3] E.G. Williams, "Supersonic Acoustic Intensity", *Journal of the Acoustical Society of America*, 97, 121–127, 1995.