

Identificação de Fontes Sonoras Via Algoritmos Genéticos

Oliveira Filho, R. H.*; Nishida, P. P. R.⁺¹; Flabes Neto, P. B.⁺²; Marques, V. A. S.⁺³; Duarte, M. A. V.⁺⁴

* Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, ricardo.filho@icte.ufm.edu.br

+ Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, pedronishida@gmail.com¹,

pauloflabes@gmail.com², vinicius.abrao@hotmail.com³, mvduarte@mecanica.ufu.br⁴

Resumo

Um ambiente de trabalho adequado deve oferecer condições que não comprometam a saúde dos colaboradores. Segundo o Ministério do Trabalho e Emprego, elevados níveis de ruído podem causar sérios problemas à saúde, físicos e psicológicos. O Laboratório de Acústica e Vibrações da Universidade Federal de Uberlândia desenvolveu um programa voltado ao controle de ruído industrial. Para isto é necessária uma correta identificação dos níveis de Potência Sonora irradiados pelos equipamentos a serem tratados. Neste trabalho é apresentada uma metodologia de identificação dos NWS (Níveis de Potência Sonora) de um conjunto compressor (compressor, amplificador de rotação e motor de indução) através dos NPS (Níveis de Pressão Sonora) medidos a um espaçamento constante entre pontos de medição e distância do equipamento. A metodologia utiliza uma rotina de otimização via Algoritmos Genéticos, que minimiza o erro entre os NPS medidos e os NPS estimados. Através da utilização deste procedimento, foram encontrados valores estimados coerentes para os NWS do conjunto compressor, possibilitando assim uma identificação confiável para a utilização do programa computacional para tratamento das fontes.

Palavras-chave: Acústica, Segurança do Trabalho, Controle de Ruído, Algoritmo Genético.

1. Introdução

A análise e controle dos níveis de ruído aos quais os colaboradores estão expostos em um ambiente de trabalho são de fundamental importância ao atendimento das premissas em Higiene e Segurança no Trabalho. O Ministério do Trabalho e Emprego, em sua 15ª Norma Regulamentadora de Medicina e Segurança no Trabalho, estabelece limites de exposição ao ruído em função da jornada de trabalho. Algumas vezes, os equipamentos existentes em uma planta industrial geram níveis de ruído superiores aos permitidos, sendo necessária a realização de tratamentos acústicos. Para tanto, o Laboratório de Acústica e Vibrações (LAV) da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) desenvolveu um programa voltado ao controle de ruído industrial. Porém, para que seja possível executar as simulações é necessária a identificação dos níveis de potência sonora (NWS) dos equipamentos de interesse. Neste trabalho optou-se pela mitigação dos níveis de ruído gerados por um conjunto compressor (compressor, amplificador de rotação e motor de indução de grande porte). Muitas vezes não é possível realizar a identificação de fontes através de métodos analíticos, como nesse caso, devido às suas dimensões, elevados níveis de ruído e interferências externas. Para tanto, sua identificação foi realizada através de um método numérico. Desta forma, apresenta-se neste trabalho, uma metodologia para a identificação de fontes sonoras utilizando uma rotina de otimização via algoritmos genéticos.

Este trabalho tem como objetivo realizar a identificação das fontes existentes em um conjunto compressor (compressor, amplificador de rotação e motor de indução de grande porte) através de uma rotina de otimização via algoritmos genéticos.

2. Metodologia

Para a identificação dos níveis de potência sonora e sua validação, dividiram-se os procedimentos em cinco partes:

- Medições realizadas em campo;
- Desenvolvimento do algoritmo implementado computacionalmente;
- Procedimento de estimação dos níveis de potência sonora;
- Obtenção das isocurvas simuladas para os valores otimizados e calculados;
- Obtenção das isocurvas simulada através das metodologias de otimização e mapeamento.

2.1. Medições

Para a utilização da rotina de otimização é necessário conhecer os níveis de pressão sonora (NPS) emitidos pelos equipamentos a distâncias pré-estabelecidas. Para isto, os NPS foram medidos a distâncias constantes de um metro do conjunto compressor e entre cada ponto. A Figura 1 mostra, esquematicamente, os equipamentos e pontos de medição. As medições foram feitas

utilizando-se um medidor de nível de pressão sonora da marca Larson Davis, modelo 831.

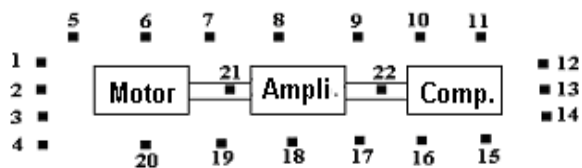


Figura 1: Representação esquemática das posições de medição.

2.2. Implementação Computacional

Para a realização da otimização visando a identificação dos níveis de potência sonora das fontes utilizou-se a ferramenta *gatoool* do *MATLAB*[®]. A função objetivo, da qual se deseja obter o valor mínimo, é dada pela equação (1).

$$Obj = (NPS_{medido_i} - NPS_{teorico_i})^2 \tag{1}$$

$$NPS_{teorico_i} = 10 * \log \left(10^{\frac{NPS_{motor_i}}{10}} + 10^{\frac{NPS_{amplificador_i}}{10}} + 10^{\frac{NPS_{compressor_i}}{10}} \right) \tag{2}$$

em que:

$$NPS_{motor_i} = \left[\begin{matrix} NWS_{motor} + \\ +10 * \log \left(\frac{1}{4 * \pi * r_{1i}^2} \right) \end{matrix} \right] \tag{3}$$

$$NPS_{amplificador_i} = \left[\begin{matrix} NWS_{amplificador} + \\ +10 * \log \left(\frac{1}{4 * \pi * r_{2i}^2} \right) \end{matrix} \right] \tag{4}$$

$$NPS_{compressor_i} = \left[\begin{matrix} NWS_{compressor} + \\ +10 * \log \left(\frac{1}{4 * \pi * r_{3i}^2} \right) \end{matrix} \right] \tag{5}$$

- r_1 : distância do ponto ao motor;
- r_2 : distância do ponto ao redutor;
- r_3 : distância do ponto ao compressor.

Estas distâncias foram calculadas a partir das coordenadas dos pontos, indicadas na Tabela 1, obtidas ao adotar-se um referencial logo acima do ponto 1.

Tabela 1: Coordenadas adotadas para os pontos, motor, redutor e compressor (metros).

| | X | Y | Z |
|------------|---|-----|-----|
| Ponto 1 | 1 | 0 | 1,6 |
| Ponto 2 | 2 | 0 | 1,6 |
| Ponto 3 | 3 | 0 | 1,6 |
| Ponto 4 | 4 | 0 | 1,6 |
| Ponto 5 | 0 | 1 | 1,6 |
| Ponto 6 | 0 | 2 | 1,6 |
| Ponto 7 | 0 | 3 | 1,6 |
| Ponto 8 | 0 | 4 | 1,6 |
| Ponto 9 | 0 | 5 | 1,6 |
| Ponto 10 | 0 | 6 | 1,6 |
| Ponto 11 | 0 | 7 | 1,6 |
| Ponto 12 | 1 | 8 | 1,6 |
| Ponto 13 | 2 | 8 | 1,6 |
| Ponto 14 | 3 | 8 | 1,6 |
| Ponto 15 | 4 | 7 | 1,6 |
| Ponto 16 | 4 | 6 | 1,6 |
| Ponto 17 | 4 | 5 | 1,6 |
| Ponto 18 | 4 | 4 | 1,6 |
| Ponto 19 | 4 | 3 | 1,6 |
| Ponto 20 | 4 | 2 | 1,6 |
| Ponto 21 | 2 | 3,5 | 1,6 |
| Ponto 22 | 2 | 5,5 | 1,6 |
| Motor | 2 | 2 | 1,6 |
| Redutor | 2 | 4,5 | 1,6 |
| Compressor | 2 | 6 | 1,6 |

Criou-se então, uma função no *MATLAB*[®] cujos valores de entrada são dados pelos níveis de potência sonora (NWS) dos equipamentos, e cujo valor de saída é o valor minimizado do erro, dado pela Equação (1).

Observa-se que tanto os valores de NWS quanto o valor do erro médio, são incógnitas da função utilizada no algoritmo genético. A solução numérica se dá a partir de um intervalo inicial dado para os valores de NWS, e em seguida a convergência do método busca para o menor valor possível da função erro.

Realizou-se esse procedimento, para as bandas de oitavas de 63 Hz a 8000 Hz, obtendo-se os valores dos NWS e do erro médio.

2.3. Estimativa dos Níveis de Potência Sonora

Para que fosse possível validar os resultados encontrados, compararam-se os valores dos níveis de potência sonora otimizados com os valores calculados, encontradas na literatura para um conjunto compressor [1].

Para um motor elétrico de grande porte (potência acima de 300 kW) o nível de potência sonora é estimado pela sua faixa de rotação [1]. Estes valores estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2: Níveis de potência sonora (dB) para um motor de grande porte e rotação entre 1800 e 3600 rpm.

| Frequências centrais em bandas de oitavas [Hz] | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| 94 | 96 | 98 | 98 | 98 | 98 | 95 | 88 |

Para um compressor centrífugo de grande porte o nível de potência sonora pode ser calculado a partir da equação (7) [1].

$$L_w = 79dB + 10 * \log(kW) \quad (7)$$

Foram feitas então correções (em dB) dos níveis de potência sonora total, para obtenção do nível máximo de potência sonora em bandas de oitava do ruído de um compressor, segundo a Tabela 3 [2].

Tabela 3: Correções dos níveis de potência sonora (dB) para o compressor.

| Frequências centrais das bandas de oitava [Hz] | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| -10 | -11 | -13 | -13 | -11 | -7 | -8 | -12 |

Para um amplificador de rotação o nível de pressão sonora (dB) pode ser calculado a partir da equação (8).

$$L_p = 78 + 4 * \log(kW) + 3 * \log(RPM) \quad (8)$$

Visto que foram calculados os níveis de pressão sonora para o amplificador, e deseja-se comparar os níveis de potência sonora com os valores otimizados, converteu-se o nível de pressão sonora obtida pela Equação (8) para o nível de potência sonora (dB) utilizando-se a equação (9).

$$NWS = NPS + 20 * \log(d) + 11dB - 10 * \log(Q) \quad (9)$$

onde:

- *NWS* é o nível de potência sonora;
- *NPS* é o nível de pressão sonora;
- *d* é a distância da fonte ao receptor (1 metro);
- *Q* é o fator de diretividade da superfície, sendo escolhido de acordo com a localização da fonte, segundo a Figura 2.

Para os cálculos, utilizando a equação (9), as fontes foram consideradas pontuais com fator de diretividade $Q=2$.

Com o nível de Potência sonora do amplificador calculado pela equação (9), utilizam-se as correções mostradas pela Tabela 4, para obtenção dos níveis de potência sonora por bandas de oitava.

Os valores de potência e rotação utilizados para os equipamentos estão listados na Tabela 5.

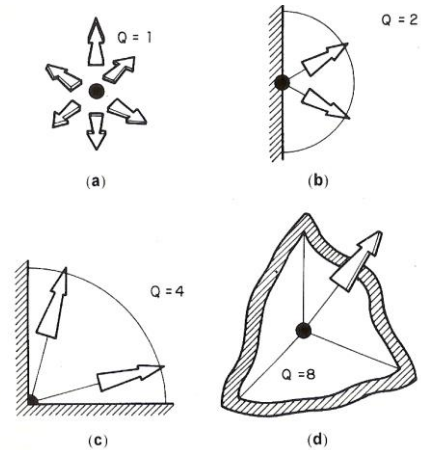


Figura 2: Efeito da presença de superfície na diretividade [3].

Tabela 4: Correções dos níveis de potência sonora (dB) para o amplificador de rotação.

| Frequências centrais em bandas de oitavas [Hz] | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| -6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabela 5: Especificações dos equipamentos.

| Equipamento | Potência [KW] | Rotação [rpm] |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| Motor | 2756,25 | 1800 |
| Compressor | 2756,25 | 11651 |
| Amplificador de rotação | 2756,25 | 11651 |

2.4. Obtenção das Isocurvas Simuladas para os Valores Otimizados e Calculados

Realizou-se a simulação das isocurvas nas proximidades do compressor a partir dos valores de NWS otimizados e comparou-se com as isocurvas, da mesma região, obtidas a partir dos valores de NWS calculados.

Utilizou-se para isso um programa voltado ao controle de ruído industrial desenvolvido no Laboratório de Acústica e Vibrações da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia.

2.5. Obtenção das Isocurvas Simuladas Através das Metodologias de Otimização e de Mapeamento

Com o intuito de validar a metodologia, optou-se pela simulação utilizando os valores identificados com o algoritmo de otimização em uma planta industrial. Os resultados foram comparados ao mapeamento dos níveis de pressão sonora medidos no local, utilizando-se o programa já citado.

3. Resultados

Os valores dos NPS medidos, em bandas de oitava de 63 Hz a 8000 Hz, em cada ponto da Figura 1 estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Valores dos Níveis de Pressão Sonora (NPS em dB) nas bandas de oitava (Hz) medidos nos pontos especificados.

| Pto. | Frequências em bandas de 1/1 oitava [Hz] | | | | | | | |
|------|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| 1 | 75 | 77 | 80 | 84 | 87 | 90 | 86 | 77 |
| 2 | 73 | 78 | 79 | 84 | 87 | 88 | 86 | 77 |
| 3 | 73 | 83 | 79 | 85 | 87 | 93 | 88 | 78 |
| 4 | 74 | 79 | 79 | 86 | 88 | 91 | 89 | 79 |
| 5 | 75 | 81 | 83 | 83 | 86 | 90 | 86 | 77 |
| 6 | 76 | 79 | 80 | 84 | 87 | 89 | 87 | 78 |
| 7 | 75 | 77 | 84 | 86 | 88 | 91 | 89 | 80 |
| 8 | 74 | 78 | 81 | 86 | 89 | 91 | 91 | 81 |
| 9 | 75 | 76 | 81 | 85 | 89 | 90 | 90 | 82 |
| 10 | 76 | 76 | 80 | 85 | 89 | 89 | 90 | 81 |
| 11 | 77 | 76 | 82 | 87 | 90 | 90 | 90 | 81 |
| 12 | 76 | 77 | 80 | 88 | 91 | 90 | 91 | 83 |
| 13 | 73 | 76 | 79 | 87 | 91 | 91 | 93 | 86 |
| 14 | 71 | 78 | 84 | 87 | 92 | 92 | 94 | 87 |
| 15 | 72 | 80 | 81 | 88 | 92 | 92 | 94 | 87 |
| 16 | 73 | 80 | 81 | 89 | 92 | 93 | 96 | 88 |
| 17 | 72 | 78 | 80 | 88 | 91 | 93 | 94 | 87 |
| 18 | 73 | 82 | 81 | 87 | 91 | 92 | 92 | 84 |
| 19 | 75 | 81 | 81 | 87 | 90 | 91 | 92 | 83 |
| 20 | 73 | 83 | 81 | 88 | 90 | 93 | 90 | 81 |
| 21 | 76 | 79 | 82 | 90 | 90 | 93 | 92 | 83 |
| 22 | 74 | 79 | 79 | 87 | 92 | 92 | 94 | 85 |

Os valores dos níveis de potência sonora em bandas de oitava para cada equipamento do conjunto compressor estão especificados na Tabela 7. É importante salientar que foi adicionado 6 dB aos valores identificados para o NWS do compressor, pois durante a identificação da fonte foi constatado a presença de um revestimento como tentativa de mitigação dos níveis de ruído por ele gerados.

Os valores de NWS teóricos calculados estão indicados na Tabela 8.

Tabela 7: Valores de Nível de Potência Sonora (NWS em dB) por bandas de oitava, identificados através da Otimização via Algoritmo Genético

| Frequência [Hz] | NWS do Motor | NWS do Amplificador | NWS do Compressor |
|-----------------|--------------|---------------------|-------------------|
| 63 | 92 | 88 | 89 |
| 125 | 98 | 90 | 81 |
| 250 | 97 | 94 | 99 |
| 500 | 103 | 102 | 102 |
| 1000 | 105 | 107 | 100 |
| 2000 | 107 | 103 | 113 |
| 4000 | 103 | 107 | 110 |
| 8000 | 92 | 100 | 100 |

Tabela 8: Valores de Nível de Potência Sonora (NWS em dB) por bandas de oitava (Hz), calculados a partir da literatura.

| Frequência [Hz] | NWS do Motor | NWS do Amplificador | NWS do Compresso |
|-----------------|--------------|---------------------|------------------|
| 63 | 94 | 106 | 103 |
| 125 | 96 | 112 | 102 |
| 250 | 98 | 112 | 100 |
| 500 | 98 | 112 | 100 |
| 1000 | 98 | 112 | 102 |
| 2000 | 98 | 112 | 106 |
| 4000 | 95 | 112 | 105 |
| 8000 | 88 | 112 | 101 |

As diferenças entre os valores de NWS calculados e otimizados são dadas na Tabela 9.

Tabela 9: Diferença entre os valores otimizados dos Níveis de Potência Sonora (NWS em dB) e os valores teóricos calculados, por bandas de oitava.

| Frequência [Hz] | Motor | Amplificador | Compressor |
|-----------------|-------|--------------|------------|
| 63 | -2 | -18 | -14 |
| 125 | 2 | -22 | -21 |
| 250 | -1 | -18 | -1 |
| 500 | 5 | -10 | 2 |
| 1000 | 7 | -5 | -2 |
| 2000 | 9 | -9 | 7 |
| 4000 | 8 | -5 | 5 |
| 8000 | 4 | -12 | -1 |

Pela análise das Tabelas 8 e 9, constataram-se os menores erros para as médias e altas frequências.

Em geral, os maiores níveis de potência sonora são encontrados para os valores calculados, pois os métodos analíticos tendem a ser conservativos, já que são aplicados em projetos que envolvem a segurança do trabalho.

Observam-se ainda maiores diferenças na análise dos resultados para o amplificador. Tais diferenças podem ser explicadas devido à influência do motor e do compressor no procedimento de identificação da fonte, uma vez que o amplificador se localiza entre o motor e o compressor, e não é possível o desligamento de fontes no procedimento de identificação.

Os resultados encontrados para as simulações das isocurvas obtidas para a região próxima ao compressor a partir dos valores de NWS otimizados e calculados, são apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Nestas figuras, as áreas em preto e em cinza representam os locais onde o nível de ruído está acima de 96 dB(A) e abaixo de 58 dB(A), respectivamente.

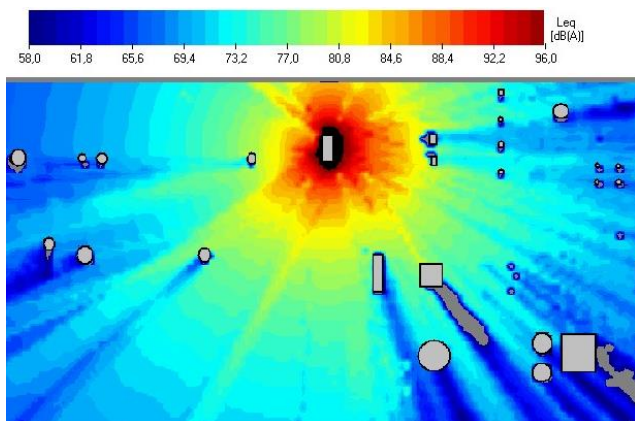


Figura 3: Isocurvas obtidas, para a região do compressor, através da simulação com os valores de NWS otimizados, em uma área de 105 m x 64 m.

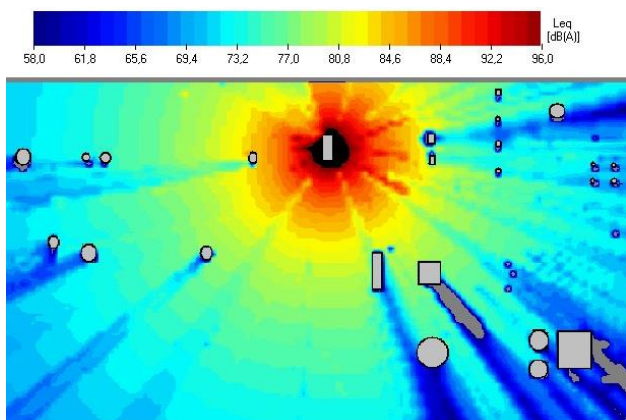


Figura 4: Isocurvas obtidas, para a região do compressor, através da simulação com os valores de NWS calculados, em uma área de 105 m x 64 m.

A variação máxima observada entre os valores dos níveis de pressão sonora em pontos específicos das isocurvas foi de 2 dB(A).

Os resultados obtidos ao se aplicar novamente a técnica de otimização, desta vez para uma região industrial onde estão localizadas outras fontes de ruído, e a figura do mapeamento com as respectivas medições realizadas, são apresentados nas Figuras 5 e 6. A Figura 5 mostra os resultados das simulações utilizando os valores de nível de potência sonora otimizados e, na Figura 6, evidenciam-se as isocurvas obtidas da interpolação dos níveis de pressão sonora medidos em campo. Nestas figuras as áreas em preto representam os locais onde os níveis de ruído estão acima de 96 dB(A). Já as áreas em cinza representam locais em que os níveis de ruído estão abaixo de 58 dB(A) ou que não foi possível interpolar valores, já que não foram realizadas as medições no interior de edificações ou equipamentos.

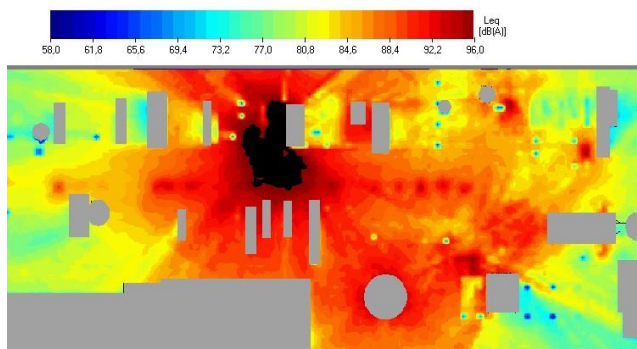


Figura 5: Isocurvas obtidas através da simulação com os valores de NWS otimizados para a planta industrial, em uma área de 146 m x 68 m.

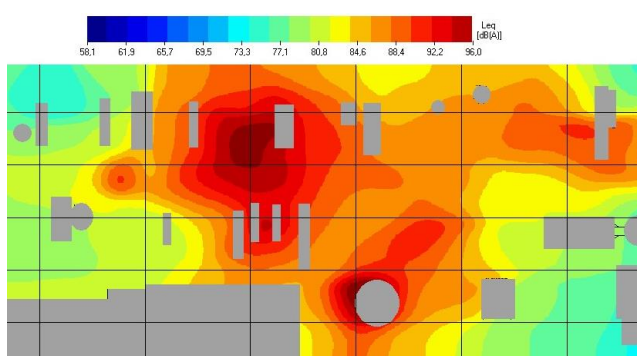


Figura 6: Isocurvas obtidas através da interpolação dos valores de NPS medidos na planta industrial, em uma área de 146 m x 68 m.

A simulação, já validada em trabalhos adjacentes, mostra resultados que se aproximam aos valores medidos, destacando-se algumas regiões onde os níveis de pressão sonora se apresentam mais elevados. Isto ocorre porque a resolução da simulação é de 1 metro, enquanto a metodologia de interpolação é feita com uma resolução de 7 metros, e não são feitas medições próximas às fontes. Apesar disso, é possível concluir que os valores otimizados são confiáveis e fornecem resultados aceitáveis.

4. Conclusões

Foi desenvolvida uma metodologia de identificação de fontes sonoras, através do cálculo dos níveis de potência sonora utilizando uma rotina de otimização via algoritmos genéticos.

Para a validação da metodologia, foram realizadas comparações entre os resultados da otimização com os estimados teoricamente [1] e com o mapeamento da área.

Os menores erros entre os valores otimizados e calculados, foram observados para as médias e altas frequências.

Os maiores níveis de potência sonora foram encontrados

para os valores calculados, uma vez que os métodos analíticos tendem a ser conservativos.

As maiores diferenças, na análise dos resultados, foram observadas para o amplificador de rotação. Tais diferenças podem ser explicadas devido à influência do motor e do compressor no procedimento de identificação da fonte, uma vez que o amplificador se localiza entre o motor e o compressor, e não é possível o desligamento de fontes no procedimento de identificação.

Feitas as simulações com os valores otimizados e com os valores estimados teoricamente, observou-se uma variação máxima entre os valores dos níveis de pressão sonora em pontos específicos das isocurvas foi de 2 dB(A). Deve-se ressaltar que variações de até 3 dB(A) são aceitáveis para simulações acústicas em ambientes abertos.

A simulação da planta industrial mostra resultados coerentes aos valores medidos, com algumas áreas apresentando níveis de pressão sonora mais elevados. Tal desvio ocorre devido à diferença da resolução dos métodos, sendo o valor usado de 1 metro na simulação e 7 metros na interpolação. Outro fato que deve ser levado em consideração é a impossibilidade de se realizar medições próximas às fontes de ruído. Apesar disso, foi possível concluir que os valores otimizados são confiáveis e fornecem resultados aceitáveis.

A escolha de um método numérico, especificamente um algoritmo genético, simplifica significativamente a solução de um problema inicialmente complexo de identificação de fontes, com boa convergência e baixo custo computacional, além de fornecer resultados confiáveis, possíveis de serem utilizados nas simulações da metodologia de mitigação de ruídos.

Referências

- [1] Bies, D. A.; Hansen, C. H. *Engineering Noise Control: Theory and Practice*. 3.ed. London and New York, 2003. 719p.
- [2] Bistafa, S. R.: *Acústica Aplicada ao Controle de Ruído*. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2011. 380p.
- [3] Gerges, S. N. Y. *Ruído - Fundamentos e Controle*. 2.ed. Editora NR, Florianópolis-SC, 2000. 674p.