



FILTRAGEM ADAPTATIVA APLICADA À IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE FONTES SONORAS

Maria Alzira de Araújo Nunes

UFU - Universidade Federal de Uberlândia – FEMEC - Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves Nave de Ávila, 2121 Bloco 1M – Campus Santa Mônica – Uberlândia - MG
maanunes@mecanica.ufu.br

Marcus Antônio Viana Duarte

UFU - Universidade Federal de Uberlândia – FEMEC - Faculdade de Engenharia Mecânica
mvduarte@mecanica.ufu.br

Resumo: Atualmente, é muito comum, indústrias receberem notificações da prefeitura pedindo que avalie o ruído nas proximidades da fábrica, pois, encontram-se em algumas cidades, leis que permitem um nível máximo de ruído na comunidade. Este tipo de problema é caracterizado como propagação de ruído externo. Uma das principais características dos ambientes industriais é que as fontes sonoras necessitam operar simultaneamente, não podendo ser desligadas ou removidas para estudo de sua contribuição acústica no campo sonoro analisado, além da presença de fontes coerentes em plantas industriais. Daí a necessidade de desenvolver novas técnicas de identificação e quantificação do ruído no ponto receptor que consiga eliminar este problema. Neste trabalho propõe-se uma técnica de identificação e quantificação de fontes a baixo custo (utilização de uma pequena quantidade de sensores: dois microfones) e que possa ser utilizado em sistemas com fontes coerentes. A princípio, as localizações das fontes são conhecidas, bem como o meio de propagação do som. Assim, os microfones serão posicionados nos pontos receptores de ruído e em pontos próximos às fontes (à 1 metro desta). Para determinação da Função Transferência entre o ponto emissor e o ponto receptor é utilizada uma técnica de filtragem adaptativa (Least Mean Square - LMS). Desta maneira, será possível eliminar no ponto receptor as fontes de interferência não coerentes, visto que este filtro se baseia em técnicas de correlação. Já para casos onde haja fontes coerentes, uma metodologia é proposta utilizando a mesma técnica de filtragem, porém uma fonte de referência (gerador de Sine Sweep) será adicionada ao sistema (próximo à fonte de interesse) para determinação da Função transferência entre a fonte que se quer identificar e o receptor que se encontra em campo afastado.

Palavras-chave: Ruído externo, Filtro adaptativo, LMS, Sine Sweep.

1. INTRODUÇÃO

A exposição da população ao Ruído Ambiente, particularmente nas zonas urbanas, tem merecido uma atenção crescente por parte da comunidade. Uma das grandes preocupações trata-se de analisar a influência do ruído industrial, na qualidade do ambiente exterior onde as pessoas circulam ou permanecem, sendo este tipo de ruído uma das maiores causas de reclamações das comunidades no órgão competente de sua cidade (Handley, 1995).

Nos últimos vinte anos, foram revistos na literatura científica, tópicos tais como distúrbios do sono e da saúde em geral no cidadão urbano, devidos direta ou indiretamente ao ruído, através do estresse ou perturbação do ritmo biológico.

Com o acelerado crescimento das cidades, está ocorrendo com frequência a invasão de residências nas áreas industriais. No entanto, as fábricas que antes eram localizadas afastadas dos grandes centros, agora são cercadas por domicílios, escolas, comércio e até hospitais. Estas fábricas,

geralmente, são antigas, e com processos de fabricação ruidosos, ou seja, não possuem nenhum tipo de tratamento acústico, pois até então, a única preocupação que o engenheiro de segurança do trabalho devia ter era com o ruído que atinge os trabalhadores desta.

Atualmente, é muito comum, a indústria receber uma notificação da prefeitura pedindo que avalie o ruído nas proximidades da fábrica, pois, encontram-se em algumas cidades, leis que permitem um nível máximo de ruído na comunidade. É neste ponto que entra a atuação do profissional qualificado para solução do problema acústico nas comunidades próximas a indústrias.

A predição de níveis de pressão sonora em áreas externas adjacentes a fontes de ruído requer a análise da propagação de som ao ar livre. Esta propagação é afetada pela atenuação ao longo do caminho de transmissão e é estimada através de correções aditivas para divergência esférica, absorção no ar, reflexões, efeito da vegetação, efeito da topografia do solo, efeito de barreiras e espalhamento nas próprias instalações. A propagação externa também é afetada por variações nas condições atmosféricas tais como: umidade relativa do ar e temperatura (Barron, 2003).

Uma das principais características dos ambientes industriais é que as fontes sonoras necessitam operar simultaneamente, não podendo ser desligadas ou removidas para estudo de sua contribuição acústica no campo sonoro analisado, além do fato de existir coerência entre as fontes presentes na planta industrial. Daí a necessidade de desenvolver novas técnicas de identificação e quantificação do ruído no ponto receptor que consiga eliminar este problema.

Neste contexto, pesquisas vêm sendo desenvolvidas desde meados dos anos 70, no que diz respeito à identificação e quantificação de fontes, tais como a Técnica da Correlação Polar (*Polar Correlation Technique*) (Fisher et al, 1977), e a técnica da Aproximação Paramétrica (*Parametric Approach*), a qual foi desenvolvida por Tester and Fisher (1981). Atualmente têm-se ganhado grande destaque as técnicas com utilização de *Arrays* de microfones, ou seja, uma rede de sensores. Tais técnicas são conhecidas como *Beamforming*, ou técnica da soma-e-atraso (Chen and Hudson, 2002) e *Holografia Acústica*, mais conhecida como NHV – Near Holografy Acoustic (Bourennane and Bendjama, 2005).

Com base nas técnicas disponíveis para identificação e quantificação de fontes e com a finalidade de eliminar as dificuldades encontradas nesta área de propagação de ruído externo, este trabalho tem como objetivo identificar e quantificar a contribuição de fontes sonoras, providas de um ambiente industrial, em pontos específicos utilizados para controle de ruído ambiental. Desta maneira será possível estimar a influência que uma fonte de potência sonora tem sobre os níveis de ruído total medidos em pontos de controle pré-determinados.

Propõe-se neste, uma técnica de identificação e quantificação de fontes a baixo custo (utilização de uma pequena quantidade de sensores: dois microfones) e que possa ser utilizado em sistemas com fontes coerentes.

A princípio, as localizações das fontes são conhecidas, bem como o meio de propagação do som. Assim, os microfones serão posicionados nos pontos receptores de ruído e em pontos próximos às fontes (a1 metro desta).

Para determinação da Função Transferência entre o ponto emissor e o ponto receptor é utilizada uma técnica de filtragem adaptativa (Least Mean Square - LMS). Desta maneira, será possível eliminar no ponto receptor as fontes de interferência não coerentes, visto que este filtro se baseia em técnicas de correlação (Stearns and David, 1997).

Já para casos onde haja fontes coerentes, uma metodologia é proposta utilizando a mesma técnica de filtragem, porém uma fonte de referência (gerador de Sine Sweep (varredura harmônica)) será adicionada ao sistema (próximo à fonte de interesse) para determinação da Função transferência entre a fonte que se quer identificar e o receptor que se encontra em campo afastado.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho é constituída de simulação teórica, a qual tem o propósito de modelar a propagação sonora em campo livre. E então, avaliar o desempenho da técnica da filtragem adaptativa a fim de obter a função transferência entre a fonte sonora de

interesse e o ponto receptor. Todas as rotinas utilizadas na simulação são programadas em ambiente Matlab®.

O modelo teórico é constituído de fontes propagando em campo livre levando em consideração os efeitos da divergência acústica e da absorção atmosférica. Dos princípios da acústica básica, pode-se então estimar o ruído que atinge um ponto receptor devido à contribuição das fontes especificadas. Na figura 1 está mostrado o modelo utilizado.

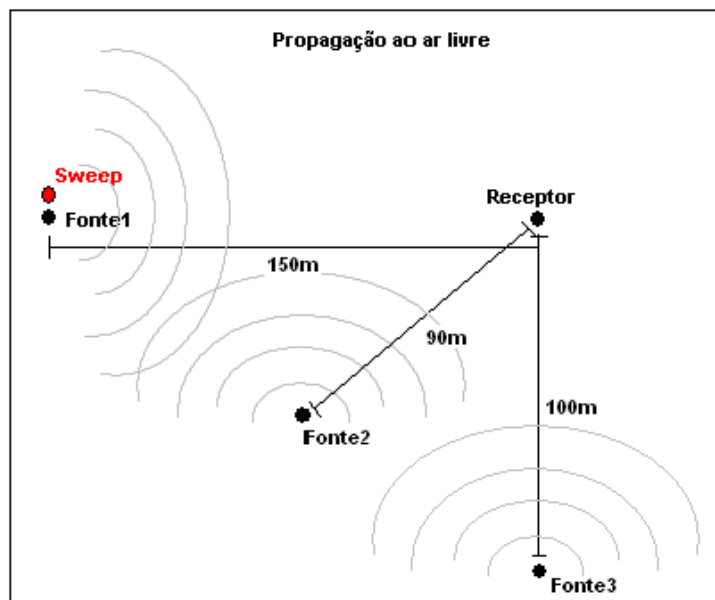


Figura 1 - Modelo utilizado na simulação.

Na Figura 1, observa-se a presença de três fontes e um receptor. O objetivo desta simulação é estimar quanto de ruído chega ao receptor devido à fonte1, daí a necessidade de se localizar a fonte geradora de sweep próximo à fonte1. A fonte denominada de Sweep corresponde a um gerador de sinal do tipo varredura harmônica em uma dada faixa de frequência.

Obtém-se com a simulação acústica do modelo da Figura 1, os sinais estimados a 1m das fontes e no receptor. Estes sinais são estimados a partir da teoria de propagação sonora de esferas pulsantes, ou seja, as fontes do modelo são consideradas pontuais e omnidirecionais.

Com os sinais estimados, calcula-se a função transferência entre cada fonte e o receptor. Desta maneira, calculando a FFT (Fast Fourier Transform) inversa da parte real da função transferência, obtemos então a função resposta ao impulso referente a cada Função Transferência já obtida.

Para estimar o sinal que atinge o ponto receptor devido a cada fonte, faz-se a convolução entre o sinal estimado a 1m da fonte em questão e a função resposta ao impulso correspondente.

Com o procedimento descrito acima, obtém-se:

- A função transferência teórica entre cada ponto emissor (fonte de ruído) e o ponto receptor.
- Os sinais teóricos estimados a 1m de cada fonte.
- Os sinais teóricos estimados no ponto receptor devido à contribuição de cada fonte.
- O sinal total no ponto receptor, o qual é a contribuição de todas as fontes neste ponto.

Com os sinais teóricos citados acima, é possível realizar comparações entre os sinais estimados com a metodologia proposta no trabalho (filtragem adaptativa).

Como o propósito do trabalho é quantificar uma determinada fonte no ponto receptor sem a necessidade de desativar (desligar) as fontes próximas, então, o objetivo desta simulação é estimar a função transferência entre uma fonte de interesse e o ponto receptor, a partir de sinais medidos neste ponto (receptor) com a contribuição de todas as fontes.

Desta maneira, de posse da função transferência e do sinal medido próximo à fonte, tem-se uma estimativa da quantidade de ruído que atinge o ponto receptor proveniente somente da fonte.

Para estimar a função transferência, um gerador de sinal do tipo *sine sweep* deve ser colocado próximo à fonte de interesse, e obter no ponto receptor o ruído que lá atinge proveniente de todas as fontes presentes no ambiente juntamente com a contribuição do *sine sweep*.

O próximo passo é utilizar uma técnica de filtragem para retirar do sinal obtido no ponto receptor, o *sine sweep* que chega neste ponto.

O filtro adaptativo utilizado neste trabalho utiliza o algoritmo LMS – Least Mean Square para obtenção da estimativa ótima a ser estimado pelo filtro. O diagrama da técnica de filtragem adaptativa utilizada neste trabalho é mostrado na Figura 2.

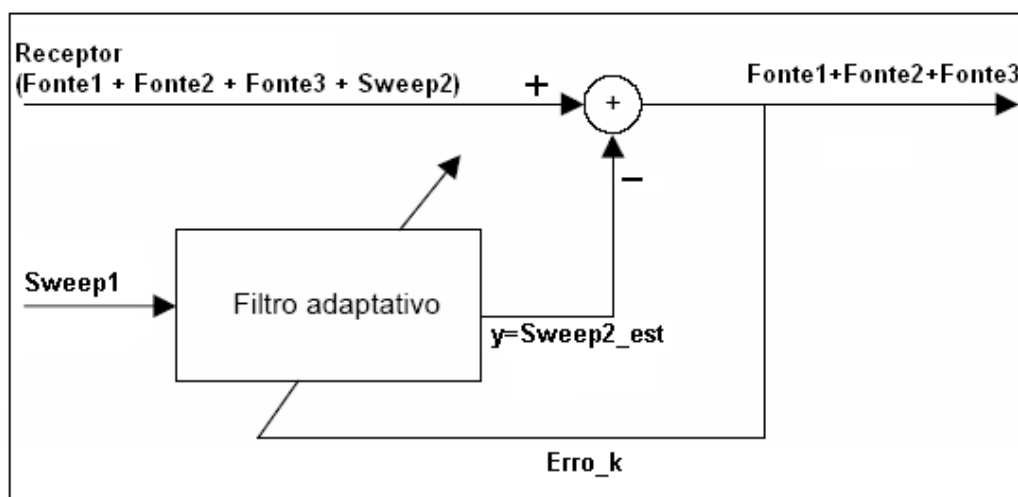


Figura 2 – Diagrama do filtro adaptativo.

Onde: Receptor é o sinal obtido no ponto receptor, o qual é a contribuição de todas as fontes emitindo ruído.

Sweep1 é o sinal obtido próximo ao gerador de Sine Sweep.

Sweep2_est é o sinal de saída do filtro, o qual é uma estimativa de Sweep2, ou seja, é a estimativa do *Sine Sweep* que atinge o receptor sem interferência das outras fontes.

Finalmente, com os dois sinais: *Sine Sweep* estimado próximo ao seu gerador (a 1 metro deste), e o *sine sweep* obtido no ponto receptor (estimado através de filtragem adaptativa), podemos calcular a função transferência entre os dois pontos (emissor e receptor).

Uma comparação entre a função transferência estimada com a utilização do filtro e a função transferência teórica (como descrita no início do capítulo) pode ser feita.

Desta maneira, se validado o modelo, e utilizando a função transferência estimada com a utilização do filtro entre os dois pontos (emissor e receptor) de interesse, teremos condições de quantificar a contribuição da fonte, desde que esta esteja localizada no mesmo ponto emissor usado na estimativa da função transferência.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sinais obtidos próximos à Fonte1, Fonte2 e Fonte3 no domínio do tempo, juntamente com a magnitude da densidade espectral de potência de cada sinal são mostrados nas Figuras 3, 4 e 5 respectivamente.

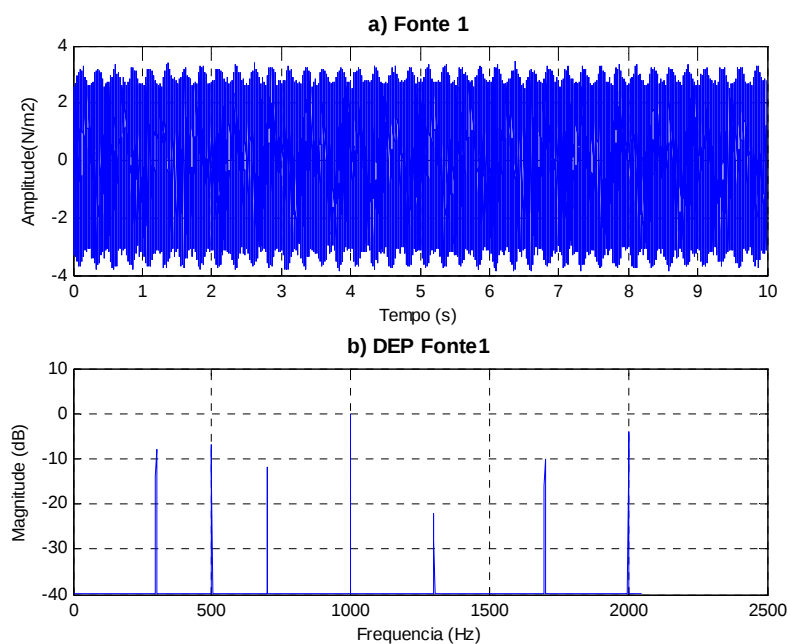


Figura 3 – Sinal estimado próximo à Fonte1.

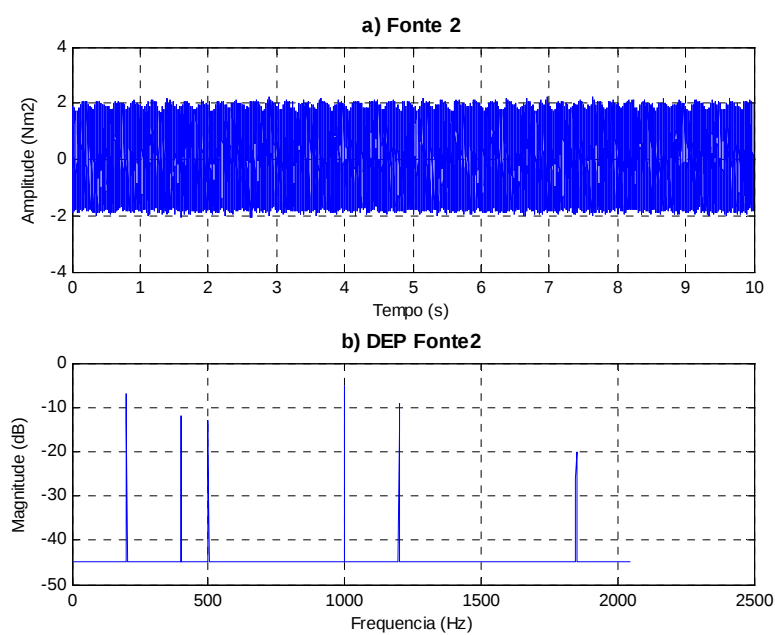


Figura 4 – Sinal estimado próximo à Fonte2.

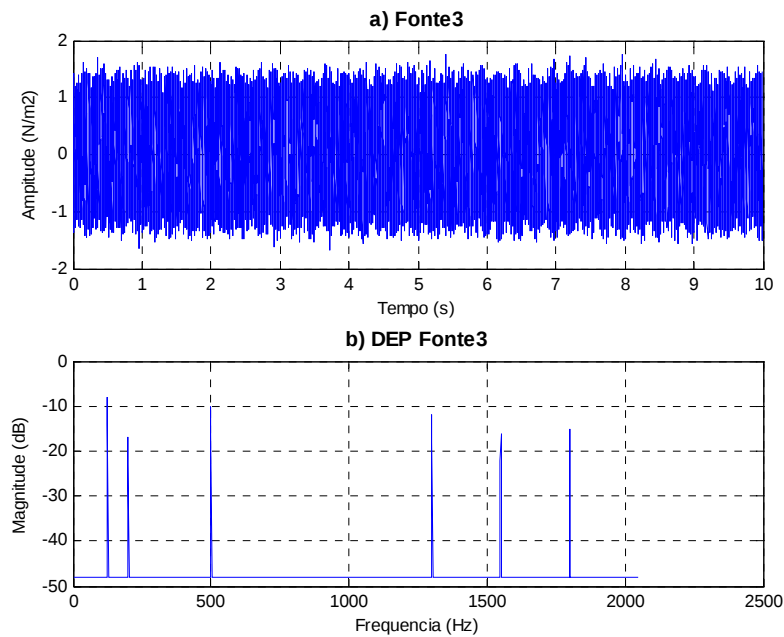


Figura 5 – Sinal estimado próximo à Fonte3.

Ressalta-se que além das componentes de frequência discretas nos sinais da Fonte 1 a 3, está presente também ruído branco.

O gerador de *sweep* colocado próximo à Fonte1 gera um sinal (sine sweep linear) com varredura harmônica de 50 a 2000 Hz em 10 segundos. O sinal estimado, no domínio do tempo e sua densidade espectral, é mostrado na Figura 6.

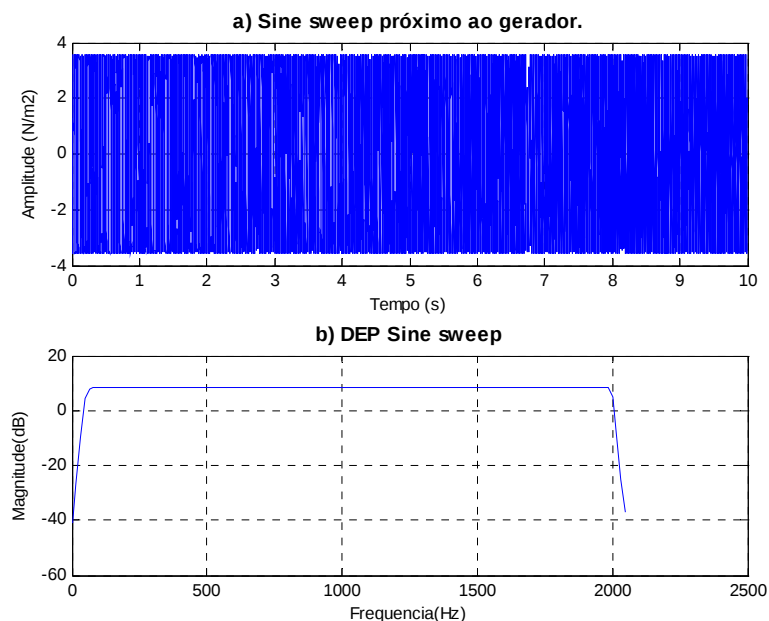


Figura 6 – Sinal estimado próximo ao gerador de Sine Sweep.

Na Figura 6-b observa-se claramente o comportamento linear do *sweep* em toda a banda de frequência 50 a 2000 Hz.

Na Figura 7 é mostrado o mesmo sinal da Figura 6, porém permitindo uma análise tempo-frequência do mesmo. O eixo x (abscissa) corresponde ao tempo em segundos e o eixo y (ordenadas) corresponde às frequências em Hz. O eixo z (saindo do papel) corresponde à magnitude em dB, a qual é mostrada na legenda ao lado da figura.

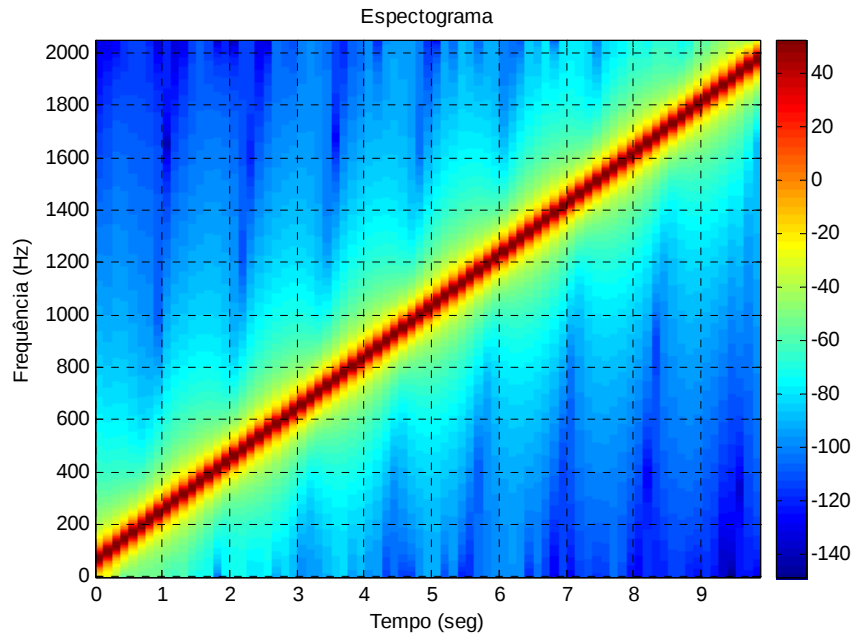


Figura 7 - Diagrama Tempo-Frequência do sinal estimado próximo ao gerador de Sine Sweep.

De posse dos sinais mostrados nas Figuras 3 a 6, aplica-se a filtragem adaptativa de acordo com o diagrama mostrado na Figura 2. O resultado obtido com o filtro é mostrado na Figura 8. Ressalta-se que os sinais da Figura 8 são estimados no ponto receptor.

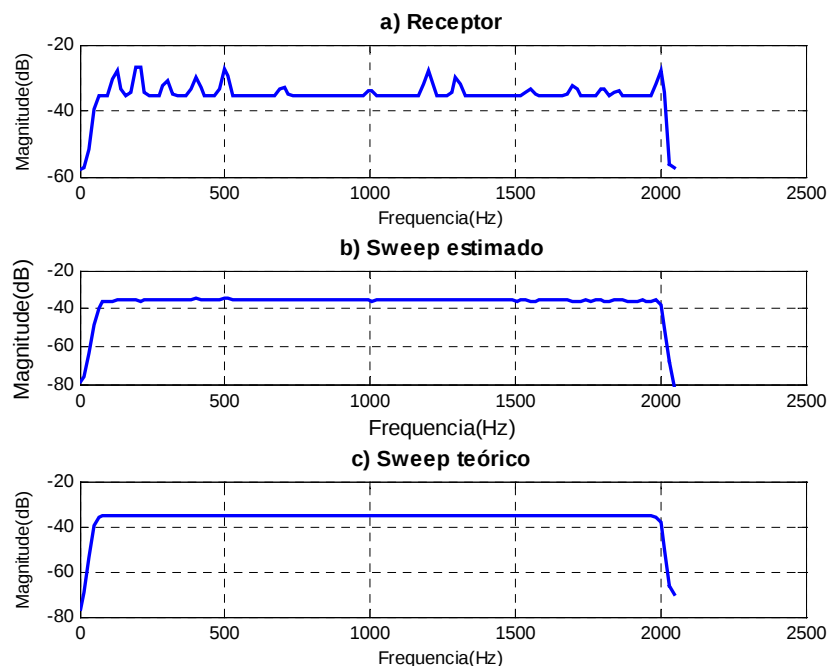


Figura 8 – Resultados obtidos com a simulação.

Analisando a Figura 8, pode-se dizer que o desempenho do filtro para este modelo foi satisfatório. Porém, para melhor visualização e comparação entre o *sweep* estimado pelo filtro e o *sweep* teórico, os dois sinais estão mostrados na Figura 9.

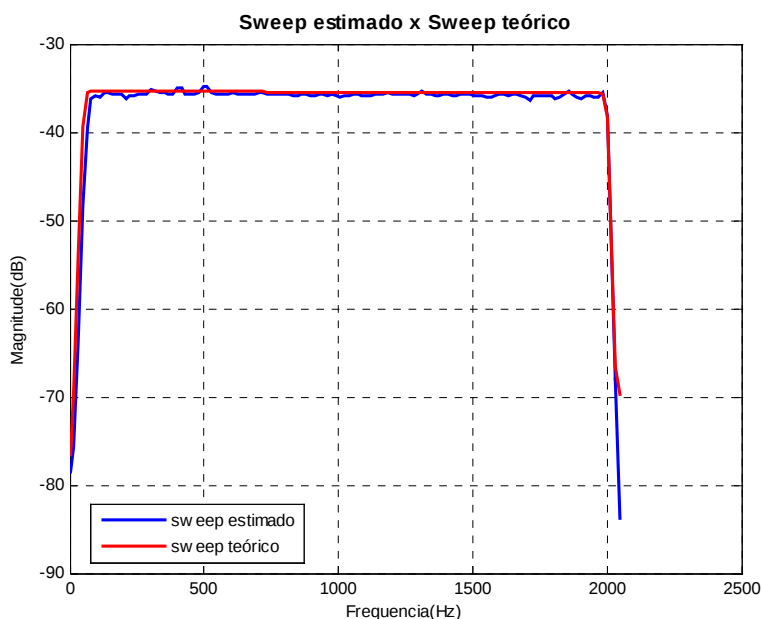


Figura 9 – Comparação entre o sweep estimado e o sweep teórico no ponto receptor.

Observa-se na Figura 9 uma grande aproximação entre os dois sinais. O erro entre estes sinais, não atinge valores maiores que 1 dB dentro da faixa de frequência analisada (50-2000 Hz).

O bom desempenho do filtro adaptativo se deve à contribuição de energia que o gerador de sweep possui no ponto receptor, a qual é aproximadamente igual à contribuição das três fontes simuladas, como mostrado na Figura 10. Em estudo anterior, se chegou à conclusão de que quanto maior for a energia estimada no ponto receptor devido somente à contribuição do gerador de sweep, em relação à energia estimada anteriormente no ponto receptor (ou seja, energia devido às fonte presentes sem influência do gerador de sweep), melhor será o resultado obtido com o filtro, ou seja, mais precisa será a função transferência estimada entre o receptor e o emissor.

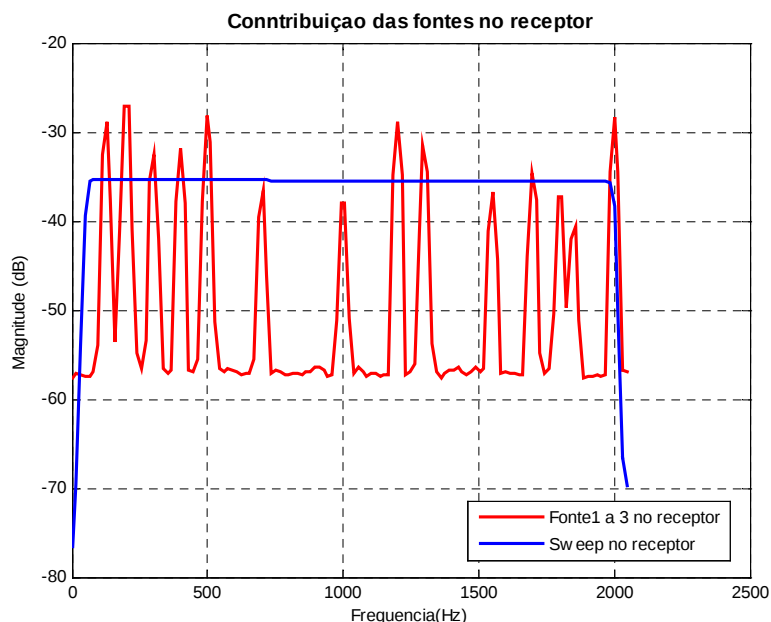


Figura 10 - Função Transferência teórica e Função Transferência estimada.

Na Figura 11 é mostrada a Função Transferência estimada a partir do sinal filtrado, e a Função Transferência teórica, entre o ponto de localização da Fonte1 e o ponto receptor.

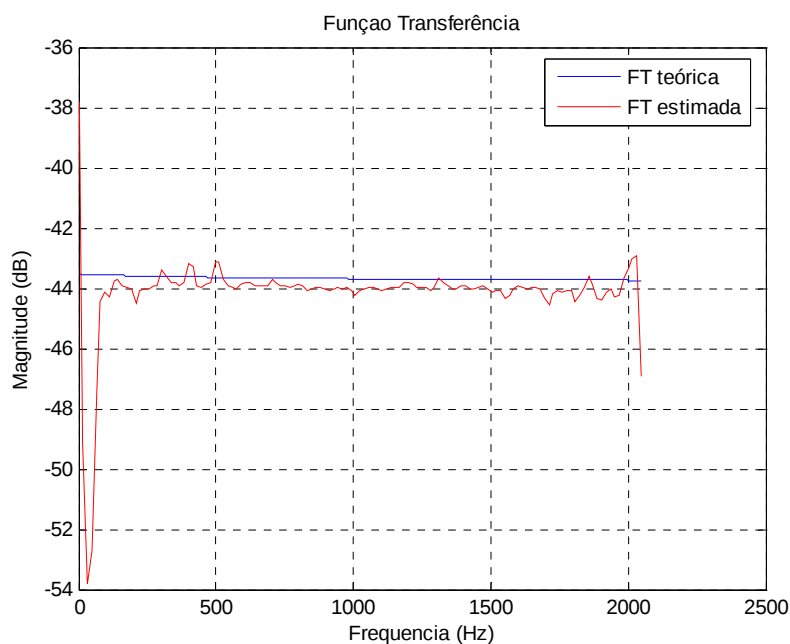


Figura 11 - Função Transferência teórica e Função Transferência estimada.

Quanto ao erro entre as duas funções transferências mostradas na Figura 11, este também não atinge valor maior que 1 dB, o que nos fornece uma ótima estimativa da Função transferência entre o emissor (Fonte 1) e o receptor.

Então, para esta simulação, pode-se dizer que o filtro nos leva a resultados satisfatórios atingindo os objetivos esperados. A metodologia proposta é promissora no que diz respeito à quantificação de fontes sonoras em campo livre.

Testes experimentais deverão ser realizados para validação dos resultados obtidos teoricamente.

4. CONCLUSÃO

A metodologia proposta se mostrou promissora no que diz respeito à quantificação de fontes sonoras em campo livre, principalmente quando da presença de fontes coerentes.

Os erros obtidos entre os sinais obtidos com a filtragem adaptativa e os sinais teóricos não ultrapassaram a ordem de 1dB. Este baixo valor de erro se deve às condições do modelo simulado, onde a energia obtida no ponto receptor devido somente ao gerador de Sweep é aproximadamente igual à energia obtida no ponto receptor devido somente às três fontes presentes no campo. No entanto, este erro tende a aumentar à medida que a contribuição de energia do gerador de sweep no ponto receptor diminui em relação às outras fontes.

Então, para uma situação na prática semelhante a esta simulada, espera-se o mesmo desempenho do filtro adaptativo. Desta maneira, consegue-se com êxito estimar a função transferência entre dois pontos (emissor e receptor), mesmo com a existência de outras fontes (coerentes ou não) na região circunvizinha.

5. AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) pelo apoio institucional.

À CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

Handley, J. M, “Controle de Ruído Industrial”, Revista Acústica e Vibrações, Edição nº 15, 1995.

- Forsyth, Barron, R. F., 2003, "Industrial Noise Control and Acoustic", Marcel Dekker, Inc, New York.
- Fisher, M. J., Bourne, M. H. and Glegg, S. A. L., 1977, "Jet engine source location: the polar correlation technique", Journal of Sound and Vibration, Vol. 51, pp 23 – 54.
- Tester, B. J. and Fisher, M. J., 1981, "Engine noise source breakdown: theory simulation and results", Proceedings of AIAA 7th Aero – Acoustic Conference, AIAA Paper N° 81.
- Chen, J. C., Yao, K. and Hudson, R. E., 2002, "Source Localization and Beamforming", IEEE Signal Processing Magazine, March 2002.
- Bourennane, S. and Bendjama, A., 2005, "Localisation of moving sources in a multipath propagation environment", Applied Acoustics Magazine, Vol 66 (2005), pp 319-339.
- Stearns, S. D. e David, R. A., Signal Processing Algorithms in Matlab, Prentice Hall Signal Processing Series, Upper Saddle River, New Jersey, 1996.

ADAPTIVE FILTERING APPLIED TO IDENTIFICATION AND QUANTIFYING OF NOISE SOURCES

Maria Alzira de Araújo Nunes

UFU - Universidade Federal de Uberlândia – FEMEC - Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves Nave de Ávila, 2121 Bloco 1M – Campus Santa Mônica – Uberlândia - MG
maanunes@mecanica.ufu.br

Marcus Antônio Viana Duarte

UFU - Universidade Federal de Uberlândia – FEMEC - Faculdade de Engenharia Mecânica
mvduarte@mecanica.ufu.br

Abstract: *Currently, it is very common, industries to receive notifications from the city hall asking for that it evaluates the noise in the neighborhoods of the plant, therefore, they meet in some cities, laws that allow a maximum level of noise in the community. This type of problem is characterized as propagation of external noise. One of the main characteristics of industrial environments is that the noise sources need to operate simultaneously, not being able off or to be removed for study of its contribution acoustics in the analyzed sonorous field, beyond the presence of coherent sources in industrial plants. Then, the necessity to develop new techniques of identification and quantification of the noise in the receiving point to eliminate this problem. In this work one technique of identification and quantification of sources is considered the low cost (use of a small amount of sensors: two microphones) and that it can be used in systems with coherent sources. At first instance, the localizations of the sources are known, as well as the way of propagation it sound. Thus, the microphones will be located in the receiving points of noise and next points to the sources (to the 1 meter of this). For determination of the Function Transference between the emitting point and the receiving point one technique of adaptive filtering is used (Least Mean Square - LMS). In this way, it will be possible to eliminate in the receiving point the sources of non-coherent interference, since this filter if bases on correlation techniques. Already for cases where it has coherent sources, a methodology is proposal using the same technique of filtering, however a reference source (generating of Sine Sweep) will be added to the system (next to the interest source) for determination of the Function transference between the source that if wants to identify and the receiver that if finds in moved away field.*

Keywords: *Outdoor Noise, Adaptive Filter, LMS, Sine Sweep.*