

# Controle Ativo de Ruído para Sistemas de Exaustão Utilizando Filtragem Adaptativa

Papini, G.S.<sup>1</sup>; Pinto, R.L.U.F.<sup>2</sup>; Morais, F.H.M.<sup>3</sup>

1 Laboratório de Calor e Fluidos / Pesquisa I, UFMG, Belo Horizonte, MG, guilherme@isobrasil.com.br

2 Laboratório de Calor e Fluidos / Pesquisa I, UFMG, Belo Horizonte, MG, utsch@demec.ufmg.br

3 Laboratório de Calor e Fluidos / Pesquisa I, UFMG, Belo Horizonte, MG, flavio.henrique@isobrasil.com.br

## Resumo

O sistema de controle ativo de ruído através de filtragem adaptativa foi desenvolvido nos anos 1980. Entretanto, apenas com o avanço tecnológico é que os sistemas ativos tornaram-se práticos, através de poderosos e econômicos hardwares para o processamento digital de sinais. Assim, neste trabalho de pesquisa foi utilizada a linguagem de programação LabVIEW Embedded, juntamente com um módulo DSP, para a compilação do algoritmo em uma controladora DSP. Este trabalho de pesquisa analisa o desempenho de um sistema de controle ativo de ruído em avanço. Desta forma, o sistema de controle ativo em desenvolvimento é constituído de um microfone de referência, um alto-falante como atuador e um microfone de erro. Este sistema é utilizado para a atenuação da onda sonora propagando-se em um duto de exaustão com um diâmetro interno de seis polegadas. A versão filtrada do algoritmo LMS, conhecida como FXLMS, foi utilizada para o controle. Os coeficientes ótimos do filtro passivo FIR utilizado no algoritmo FXLMS foram estimados recursivamente em tempo real, através de filtragem adaptativa. Nesta estimação de parâmetros o sistema eletroacústico foi submetido a um ruído branco para a sua identificação. Os resultados experimentais mostraram uma atenuação sonora de 15 dB(A) na banda de 250 Hz.

## Abstract

The system of active noise control through adaptive filtering was developed in years 1980. However, only with the technological advance it is that the active systems had become practical, through powerful and economic hardware for the digital processing of signals. Thus, in this work of research was used the programming language LabVIEW Embedded together with a DSP module for the compilation of the algorithm in a DSP controller. This work of research analyzes the performance of active noise control system in feedforward. In such a way, the active noise control system in development is constituted of a reference microphone, a loudspeaker as actuator and a microphone of error. This system is used for the attenuation of the sonorous wave spreading in a duct of exhaustion with an internal diameter of 6 inches. The filtered version of algorithm LMS, known as FXLMS, was used for the control. The coefficients of passive filter FIR used in algorithm FXLMS had been estimated in real time, through adaptive filtering. In this adaptive estimation the system was submitted to a white noise for its identification. The experimental results had shown a sonorous attenuation of 15 dB in the band of 250 Hz.

**Palavras-chave:** Controle Ativo de Ruído, Filtragem Adaptativa, Algoritmo FXLMS.

## 1. Introdução

O controle de ruído em dutos apresenta uma larga variedade de técnicas para solucionar o problema de propagação sonora interna e, eventualmente, externa em dutos. Estas técnicas podem ser divididas em dois grandes grupos: as técnicas de controle passivo de ruído e as técnicas de controle ativo de ruído. Em relação às técnicas passivas, estas podem ser divididas em dois subgrupos, a saber: técnicas de redirecionamento do fluxo de energia acústica e técnicas de redução do fluxo de energia acústica. Porém, a técnica que envolve o redirecionamento da fonte sonora é trivial. Desta forma, ela requer o redirecionamento da exaustão de gases industriais para uma região que minimiza o impacto

sonoro nos pontos receptores, sejam eles internos à planta industrial, tendo um caráter ocupacional, ou externo à planta industrial, apresentando um caráter ambiental.

A técnica de redução do fluxo de energia acústica para o problema de ruído em dutos pode ainda ser dividida em duas categorias: aquelas que alteram a impedância do duto (técnicas reativas); aquelas que absorvem a energia acústica (técnicas dissipativas). Em geral, as técnicas reativas são aplicadas para resolver problemas de ruído de baixa frequência, pois proporcionam soluções mais compactas em relação às técnicas dissipativas. Por outro lado, as técnicas dissipativas aplicam-se aos problemas que envolvem médias e altas frequências, sendo mais econômicas de serem implantadas.

Dentre as técnicas reativas para o controle passivo de ruído, destacam-se: ressonadores com derivação lateral (incluindo os ressonadores de Helmholtz); câmaras de expansão; filtros de Helmholtz. Dentre as técnicas dissipativas para o controle de ruído passivo tem-se: atenuadores lamelares retangulares; atenuadores de lamelas concêntricas.

Como alternativa ao controle passivo de ruído, existem várias técnicas de controle ativo de ruído. Atualmente, as técnicas de controle ativo de ruído representam uma aplicação popular de tecnologia, especialmente nos Estados Unidos da América, segundo [Snyder, S.D.].

Assim, existe uma variedade de caminhos possíveis para se aplicar um sistema de controle ativo de ruído em um duto. Porém, neste artigo as discussões se darão em torno de sistemas em avanço (feedforward), utilizando filtragem adaptativa.

Os algoritmos de controle ativo de ruído que usam tecnologias adaptativas para o processamento de sinais tem sido largamente investigados em situações práticas após o algoritmo X-filtrado LMS (FXLMS) ter sido proposto por Widrow, em 1985, segundo [OH, S.-H. et al.].

Segundo [Li, X. et al.], os meios tradicionais de controle do ruído que se propaga em dutos envolve a implementação de silenciadores passivos, que são dispendiosos e, freqüentemente, não tão efetivos para tratar ruídos tonais de baixa freqüência quando aplicados em chaminés de exaustão de grandes dimensões. Desta maneira, o controle ANC parece ser uma alternativa promissora, tendo em vista as aplicações bem sucedidas em várias áreas.

## 2. O controle ativo de ruído - estratégia em avanço

O aparato experimental de um sistema acústico em dutos tem sido muito utilizado para a modelagem acústica de sistemas de exaustão, HVAC e grupos moto-geradores. O algoritmo LMS filtrado (FXLMS) será utilizado para a atenuação do ruído. Este representa um dos algoritmos adaptativos mais utilizados em controle ativo de ruído ou vibrações, segundo [Kuo, S. M. et al.] e [Tobias, O. J. et al.]. Este algoritmo é uma modificação do algoritmo LMS clássico, no qual é incluída uma operação de filtragem na saída do filtro adaptativo. No caso de controle de ruído, esta filtragem modela matematicamente o caminho elétrico (ou secundário) do sinal, composto por: conversores A/D e D/A; amplificador de potência; alto-falantes; microfones; equalizador; cabo para microfone; cabo para caixa acústica; conectores. Sem esta operação de filtragem o desempenho do sistema adaptativo se degrada, modificando as propriedades de estabilidade e convergência do algoritmo LMS. Para superar tal problema, o sinal de referência é geralmente processado por um filtro cuja resposta é uma estimativa da resposta

do caminho elétrico do sistema acústico.

Antes de iniciar o procedimento experimental, devem-se compreender os dois domínios distintos que representam o sistema como um todo. Assim, conforme mostrado pela Figura 2.1 tem-se o domínio elétrico do sinal, constituído pelo sistema de som, e o domínio acústico, constituído pela planta.

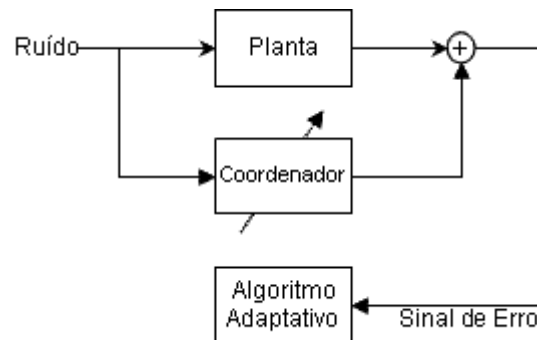


Figura 2.1 – Diagrama esquemático do sistema de controle ativo de ruído em dutos.

Desta maneira, numa primeira etapa, será realizada uma identificação do sistema e estimativa de parâmetros relacionados ao caminho secundário ou elétrico. Pois, o algoritmo LMS filtrado requer, para seu funcionamento, o conhecimento da resposta do filtro  $S$ , chamado caminho secundário. Assim, assumindo-se que as características de  $S$  sejam invariantes no tempo, é possível modelar tal resposta através de um procedimento “off-line”. Ao final do intervalo de treinamento, a estimativa de  $S$  obtida ( $\hat{S}$ ) é incluída no sistema para a operação normal. Nesta primeira etapa, um ruído branco é utilizado como sinal de entrada na identificação de sistema, visto que ele é um sinal de faixa ampla e apresenta uma densidade espectral constante para todas as freqüências. Quando tal forma de onda é utilizada para a identificação de sistema, o tempo requerido para a medição pode ser relativamente pequeno em comparação com o tempo requerido para repetidas medições utilizando-se outras formas de onda.

A montagem experimental para a determinação da estimativa de  $S$  é mostrada na Figura 2.2.

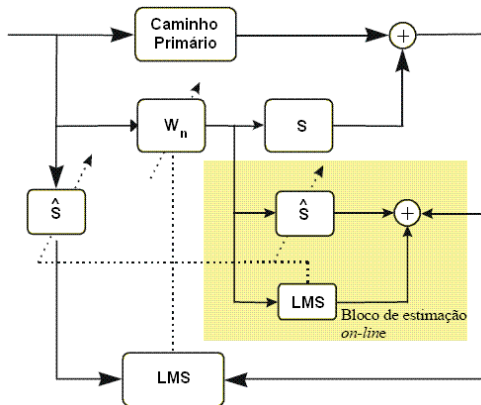


Figura 2.2 – Fluxograma de montagem experimental para a obtenção da estimativa de  $S$ .

Como ilustrado na Figura 2.2, um gerador de ruído aleatório é usado como a entrada para a fonte secundária, descrita aqui como um alto-falante, e como entrada para um filtro adaptativo  $\hat{S}(z)$ , que é utilizado na modelagem do caminho secundário. O procedimento de modelagem “off-line” é resumido a seguir:

- I. Gerar um sinal de ruído branco  $x(n)$ ;
- II. Obter o sinal desejado  $d(n)$  a partir de um sensor de erro;
- III. Aplicar o algoritmo ao filtro adaptativo como segue:
  - a) Calcular a saída do filtro adaptativo

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} \hat{s}_l(n) x(n-l) \quad 1$$

onde,  $\hat{s}_l$  é o  $l$ -ésimo coeficiente do filtro de estimação do caminho secundário  $\hat{S}(z)$  no tempo  $n$ .

- b) Calcular o sinal de erro

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad 2$$

- c) Atualizar os coeficientes utilizando-se o algoritmo LMS

$$\hat{s}_l(n+1) = \hat{s}_l(n) + \mu x(n-l)e(n), \quad l = 0, 1, \dots, L-1 \quad 3$$

- IV. Retornar ao passo I para a próxima iteração até o filtro adaptativo  $\hat{S}(z)$  convergir para uma solução ótima, ou seja, até o erro  $e(n)$  ser minimizado.

Após a convergência do algoritmo, a adaptação é interrompida e os coeficientes  $\hat{s}_l, l = 0, 1, \dots, L-1$  são usados no sistema ANC.

Paralelamente à técnica recursiva em tempo real, para a identificação do sistema e estimativa de parâmetros do caminho secundário (caminho eletroacústico do sinal), será implementado o algoritmo FXLMS. A configuração de um sistema de controle ANC é apresentada abaixo. A utilização do algoritmo LMS supõe que o sinal de erro esteja diretamente disponível; esse é originado pela diferença entre a saída desejada referente ao sinal da fonte primária filtrada através de um filtro IIR e a saída do filtro adaptativo FIR. A Figura 2.3 mostra um esquema para controle ANC utilizando-se o algoritmo FXLMS. Neste esquema,  $x(n)$  é um sinal de referência,  $P(z)$  representa a função de transferência do caminho primário através de um filtro IIR,  $d(n)$  é a saída de  $P(z)$ ,  $W(z)$  é um filtro adaptativo atualizado pelo algoritmo FXLMS,  $y(n)$  é a saída de  $W(z)$ ,  $S(z)$  é o caminho secundário representado por um filtro IIR,  $y'(n)$  é a saída de  $S(z)$ ,  $e(n) = d(n) - y'(n)$  é o sinal de erro,  $\hat{S}(z)$  é o filtro FIR não adaptativo a partir de uma modelagem “off-line” e, finalmente,  $x'(n)$  é o sinal de referência filtrado utilizado pelo algoritmo FXLMS.

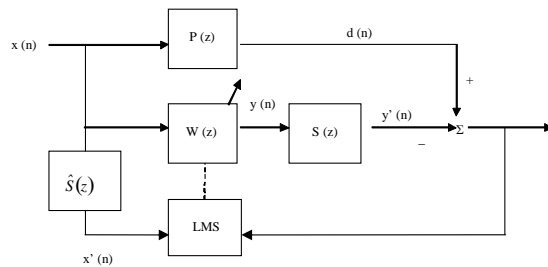


Figura 2.3 – Fluxograma do controle ANC “on-line”.

Numa etapa seguinte, após a implementação computacional do algoritmo FXLMS, será realizado o controle ativo de ruído unidimensional, para dutos de pequenos diâmetros em relação ao comprimento de onda, utilizando-se uma planta experimental.

### 3. Identificação do caminho secundário do sinal de cancelamento

A Figura 3.1 apresenta o arranjo experimental que foi utilizado nos testes de identificação do caminho eletroacústico. Assim, em seguida são apresentados os resultados referentes aos testes de convergência da filtragem adaptativa para identificação da função de transferência do caminho secundário do sinal de cancelamento (caminho eletroacústico), utilizando-se um filtro FIR associado a um algoritmo LMS sujeito a um ruído branco. Desta maneira, o desempenho desta filtragem adaptativa foi mensurado considerando-se várias ordens do filtro FIR. Assim, o número de operadores do filtro adaptativo variou de 16, 32, 64 e 128. Além disso, para cada ordem do filtro adaptativo variou-se o tamanho do passo do algoritmo LMS. Também, para estes testes foi fixado um critério de

parada, referindo-se ao erro RMS entre o sinal desejado e o sinal adaptado como sendo menor ou igual a 0,1.



Figura 3.1 – Detalhe da montagem experimental para a realização da identificação do caminho eletroacústico utilizando-se filtragem adaptativa.

Assim, nesse documento é apresentada apenas a análise do filtro adaptativo com 16 operadores na função de transferência. A seguir é apresentada a Tabela 1 contendo dados comparativos referentes ao erro RMS, número de iterações e tempo de convergência entre o sinal desejado e adaptado para vários tamanhos de passo, de  $1 \times 10^{-9}$  até  $1 \times 10^{-5}$ . Nota-se que o melhor desempenho de um filtro adaptativo de ordem 16 acontece com um passo de tamanho  $1 \times 10^{-6}$ , erro RMS de 0,025477, tempo de convergência de 1001 ms e 7515 iterações. A Figura 3.2 mostra graficamente este resultado.

Tabela 1 – Identificação do caminho secundário utilizando filtragem adaptativa, variando-se o tamanho do passo e fixando-se o número de operadores em 16.

|        | Passo 1E-9 |          | Passo 1E-8 |         | Passo 1E-7 |         | Passo 1E-6 |         |
|--------|------------|----------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
|        | SD         | SA       | SD         | SA      | SD         | SA      | SD         | SA      |
| 1      | 124,00     | 115,55   | 101,00     | 96,40   | 85,00      | 92,52   | 98,00      | 99,39   |
| 2      | 100,00     | 105,78   | -35,00     | -40,29  | -54,00     | -46,75  | -40,00     | -40,99  |
| 3      | -36,00     | -25,15   | 166,00     | 156,09  | 145,00     | 151,45  | 157,00     | 157,47  |
| 4      | 156,00     | 162,02   | 111,00     | 106,57  | 96,00      | 96,57   | 101,00     | 101,08  |
| 5      | 103,00     | 114,15   | 23,00      | 5,45    | 6,00       | 9,05    | 10,00      | 9,46    |
| 6      | 13,00      | 3,78     | -38,00     | -42,06  | -45,00     | -44,12  | -45,00     | -44,15  |
| 7      | -41,00     | -33,94   | -92,00     | -103,13 | -95,00     | -94,59  | -97,00     | -98,00  |
| 8      | -88,00     | -99,29   | -165,00    | -169,59 | -164,00    | -163,85 | -170,00    | -169,07 |
| 9      | -157,00    | -149,67  | -200,00    | -208,42 | -195,00    | -193,37 | -198,00    | -198,67 |
| 10     | -183,00    | -187,93  | -5,00      | -13,24  | 3,00       | 3,23    | -3,00      | -2,71   |
| 11     | 14,00      | -3,90    | 145,00     | 130,90  | 147,00     | 146,24  | 144,00     | 144,16  |
| 12     | 162,00     | 134,60   | -34,00     | -56,32  | -38,00     | -37,38  | -38,00     | -38,63  |
| 13     | -16,00     | -47,15   | -8,00      | -27,44  | -16,00     | -13,87  | -16,00     | -15,01  |
| 14     | 6,00       | -2,86    | 21,00      | -7,61   | 13,00      | 12,46   | 17,00      | 15,77   |
| 15     | 38,00      | 6,97     | -144,00    | -158,49 | -150,00    | -148,33 | -149,00    | -147,69 |
| 16     | -125,00    | -139,07  | 135,00     | 113,36  | 130,00     | 127,07  | 124,00     | 122,79  |
| RMS    | 104,03     | 103,97   | 109,15     | 109,12  | 105,85     | 105,92  | 107,82     | 107,79  |
| Erro   |            | 0,06     |            | 0,03    |            | 0,07    |            | 0,03    |
| N      |            | 39495,00 |            | 9615,00 |            | 8790,00 |            | 7515,00 |
| t (ms) |            | 5265,00  |            | 1281,00 |            | 1171,00 |            | 1001,00 |

SD – Sinal Desejado; SA - Sinal Adaptado; N – Iterações; t - Tempo

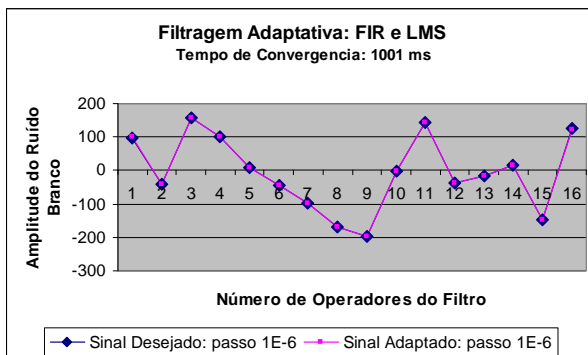


Figura 3.2 – Representação gráfica entre os sinais desejados e adaptados para um tamanho de passo da ordem de  $1 \times 10^{-6}$ , ordem 16 e 7515 iterações.

#### 4. Controle ativo de ruído em tempo real

A seguir serão apresentados os resultados experimentais utilizando-se o controle ativo de ruído, através de um algoritmo adaptativo, como medida de controle de ruído aplicado em dutos e tubulações industriais, que compõem parte de um sistema de exaustão de gases.

##### 4.1 – Planta experimental

A Figura 4.1 apresenta o arranjo experimental utilizado no controle ativo de ruído através de uma estratégia em avanço, utilizando-se filtragem adaptativa. Em seguida, a Figura 4.2 apresenta a malha de pontos adotada para a identificação da fonte principal de ruído, a descarga do sistema de exaustão. Desta forma, através de dezessete medições foi possível estabelecer um nível de pressão sonora médio, na saída, tendo em vista a direcionalidade da fonte sonora, bem como a forma geométrica característica de uma exaustão, que se aproxima de uma cardióide.



Figura 4.1 – Arranjo experimental utilizada para o controle ativo de ruído.

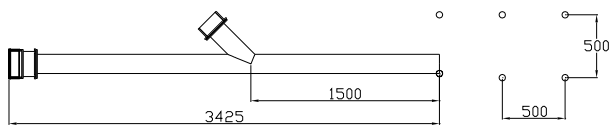


Figura 4.2 – Desenho esquemático da planta experimental e da malha de dezessete pontos utilizada para a identificação da fonte potencialmente crítica, saída da exaustão.

As Tabelas 2 a 5, bem como a Figuras 4.3 e 4.4 apresentam os resultados de medição do controle ativo de um ruído tonal, realizadas no **Laboratório de Fluidos e Pesquisa I**, localizado no galpão da pós-graduação da engenharia mecânica da UFMG. Na tabelas são mostrados os resultados de Lra médio (Nível de Ruído Ambiente), o Desvpad (Desvio Padrão) e Leq (Nível Equivalente de Ruído).

Neste teste foi gerado um ruído sonoro, de características tonais, predominantemente em 250 Hz. Foi utilizada uma estratégia de filtragem adaptativa, uma versão filtrada do algoritmo LMS. A ordem do filtro foi de 32 operadores. A placa de controle utilizada foi a NI Speedy 33, com processador DSP, contendo dois canais estéreos de saída e dois canais estéreos de entrada. Foram utilizados um atuador de cancelamento e um microfone de erro, tendo em vista a propagação de ondas planas no interior do guia de ondas.

Tabela 2 – Resultados das medições sonoras em dezessete pontos, considerando-se a fonte principal desligada.

| RUIDO DE FUNDO<br>Leq - 10s |           |         |
|-----------------------------|-----------|---------|
| Frequencia                  | Lra medio | Desvpad |
| 31,5                        | 51        | 1,68    |
| 63                          | 41        | 1,90    |
| 125                         | 49        | 0,88    |
| 250                         | 51        | 0,78    |
| 500                         | 51        | 0,59    |
| 1000                        | 48        | 0,37    |
| 2000                        | 44        | 0,54    |
| 4000                        | 39        | 0,48    |
| 8000                        | 29        | 0,59    |
| 16000                       | 17        | 0,74    |
| <b>Global (Lin)</b>         | 57        |         |

Tabela 3 – Resultado da medição sonora na posição do microfone de captação, considerando-se a fonte principal ligada.

| RUIDO DE ENTRADA    |           |         |
|---------------------|-----------|---------|
| Frequencia          | Leq - 10s | Desvpad |
| 31,5                | 57        | –       |
| 63                  | 62        | –       |
| 125                 | 65        | –       |
| 250                 | 110       | –       |
| 500                 | 86        | –       |
| 1000                | 56        | –       |
| 2000                | 47        | –       |
| 4000                | 43        | –       |
| 8000                | 43        | –       |
| 16000               | 46        | –       |
| <b>Global (Lin)</b> | 110       |         |

Tabela 4 – Resultado das medições sonoras em dezessete pontos localizados no entorno da exaustão, considerando-se a fonte principal ligada, sem cancelamento.

| RUIDO SEM<br>CANCELAMENTO<br>Leq - 10s |           |         |
|--|-----------|---------|
| Frequencia                             | Lra medio | Desvpad |
| 31,5                                   | 51        | 2,29    |
| 63                                     | 41        | 1,48    |
| 125                                    | 49        | 0,87    |
| 250                                    | 75        | 3,24    |
| 500                                    | 53        | 1,54    |
| 1000                                   | 48        | 0,56    |
| 2000                                   | 44        | 0,34    |
| 4000                                   | 38        | 0,36    |
| 8000                                   | 29        | 0,48    |
| 16000                                  | 16        | 0,59    |
| <b>Global (Lin)</b>                    | 75        |         |

Tabela 5 – Resultado das medições sonoras em dezessete pontos localizados no entorno da exaustão, considerando-se a fonte principal ligada, com cancelamento ativo.

| RUIDO COM<br>CANCELAMENTO<br>Leq - 10s |           |         |
|--|-----------|---------|
| Frequencia                             | Lra medio | Desvpad |
| 31,5                                   | 53        | 3,12    |
| 63                                     | 42        | 2,28    |
| 125                                    | 49        | 0,71    |
| 250                                    | 60        | 3,16    |
| 500                                    | 51        | 0,96    |
| 1000                                   | 48        | 0,51    |
| 2000                                   | 44        | 0,32    |
| 4000                                   | 38        | 0,35    |
| 8000                                   | 29        | 0,41    |
| 16000                                  | 16        | 0,63    |
| <b>Global (Lin)</b>                    | 61        |         |

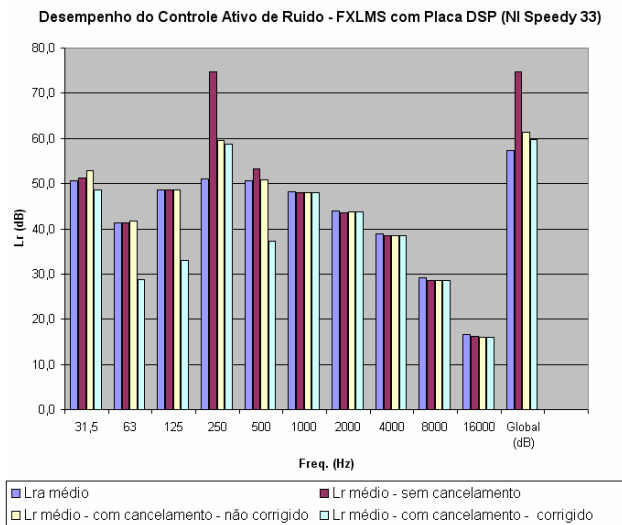


Figura 4.3 - Resumo dos resultados das medições sonoras apresentados anteriormente, em bandas de 1/1 de oitava e em níveis globais.

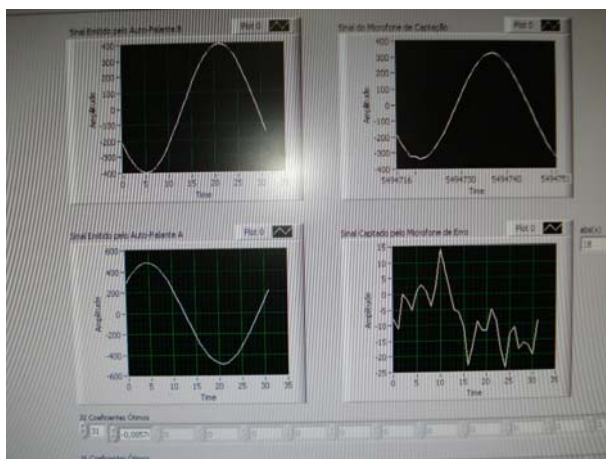


Figura 4.4 – Controle ativo de ruído no estado permanente, apresentando os sinais de captação, cancelamento e de erro, respectivamente

## 5. Considerações finais

Pode-se afirmar que os resultados preliminares obtidos estão de acordo com os objetivos traçados inicialmente para esse projeto de pesquisa. Assim, nesta primeira fase foram cumpridas todas as etapas necessárias à realização de um primeiro protótipo para o controle ativo de ruído em dutos de exaustão. Desta forma, tendo em vista a planta de testes em atividade, foi possível elaborar uma metodologia de projeto de sistemas de controle ativo de ruído propagando-se em um guia de onda. Porém, para transformar este primeiro protótipo em uma alternativa que seja viável técnica e economicamente, tendo em vista um caráter industrial, há necessidade de se concluir mais algumas etapas de desenvolvimento. Tais etapas referem-se às soluções de engenharia aplicada, tais como: embarcar os sistemas

eletrônicos e acústicos em um módulo compacto; desenvolver guias de ondas especiais para proteger os atuadores e os sensores do ambiente industrial, da exposição direta ao campo de temperatura e dos particulados do fluxo; realizar testes utilizando-se atuadores e sensores que apresentem uma resposta plana de longo prazo.

Os testes acústicos do protótipo de laboratório permitiram a observação isolada da influência de seus principais componentes. Desta maneira, foi possível observar a instabilidade do sistema de controle ativo, utilizando-se uma filtragem adaptativa em avanço, quando o microfone de captação torna-se exposto à realimentação sonora proveniente do atuador de cancelamento. Para superar a limitação de desempenho acústico e a instabilidade do sistema, causada pela realimentação sonora, foram desenvolvidas caixas acústicas especiais. Assim, estes dispositivos permitiram o desacoplamento sonoro na região do microfone de captação. Após a implantação destes dispositivos o sistema mostrou-se estável para as baixas frequências. Assim, os resultados apresentados no item quatro mostram um desempenho acústico satisfatório para a frequência de 250 Hz. Nesta banda de frequência foram observados 15 dB de atenuação. Normalmente, para se conseguir níveis de atenuação desta ordem, com tal intensidade sonora, utilizando-se estratégias de controle de ruído passivas são necessários dispositivos de grandes dimensões geométricas. Assim, a estratégia de controle ativo utilizando-se o algoritmo FXLMS, bem como uma controladora DSP é muito eficaz para a atenuação sonora de ondas planas, tendo em vista um ruído principal tonal.

Também, é muito importante o correto ajuste de ganhos entre os sensores e os atuadores do sistema. Desta forma, foram realizadas medições elétricas em cada grupo de sensores e atuadores permitindo que o sistema eletroacústico operasse de maneira mais equilibrada, dentro das respectivas faixas operacionais. Sendo assim, o sistema de controle ativo requer dispositivos eletroacústicos que permitem um ajuste fino dos ganhos e com baixas relações sinal/ruído. Desta maneira, o arranjo eletroacústico tem uma função preponderante sobre a estabilidade do sistema.

## Referências

- [1] Snyder, S.D.: *Active Noise Control Primer – Modern Acoustics and Signal Processing*: New York: Editora Springer, 2000.
- [2] OH, S.-H., Park, Y.: Active Noise Control Algorithm Using IIR-Based Filter, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 231, No. 5, p. 1396-1412, 2000.
- [3] Li, X., Qiu, X., Leclercq, D. L. L., Zander, A. C., Hansen, C. H.: Implementation of Active Noise Control in a Multi-Modal Spray Dryer Exhaust Stack, *Applied Acoustics*, No. 67, p. 28-48, 2006.
- [4] Kuo, S. M., Panahi, I., Chung, K. M., Horner, T.,

---

Nadeski, M., Chyan, J.: *Design of Active Noise Control Systems with the TMS320 Family: Products DSP – Grupo de Semicondutores: Texas Instruments, 1996.*

- [5] Tobias, O. J., Gontijo, W. A., Seara, R., Lopes, E. M. O., Coan, J. J.: Algoritmos Adaptativos no Controle Ativo de Vibrações e Ruídos Acústicos. *DINCON'2005*, 4<sup>o</sup> Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações, UNESP, Bauru, Brasil, 2005.