

# **CONTROLE ATIVO DE RUÍDO APLICADO EM DUTOS**

**Naor Moraes Melo**

Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Av. 1º de Maio, 720 – Jaguaribe, João Pessoa, PB, [naor.melo@bol.com.br](mailto:naor.melo@bol.com.br)

**Simplício Arnaud da Silva**

Universidade Federal da Paraíba, Campus I, Cidade Universitária, João Pessoa, PB.

**Seyyed Said Dana**

Universidade Federal da Paraíba, Campus I, Cidade Universitária, João Pessoa, PB.

**Resumo.** *Nos dias de hoje o ruído sonoro é um dos principais fatores a ser controlado e tratado, uma vez que a exposição do ouvido humano a níveis sonoros elevados pode comprometer em parte ou por completo o seu funcionamento. Dentre as várias técnicas de controle de ruído disponíveis na atualidade, o controle ativo de ruído se apresenta como uma ferramenta viável devido ao desenvolvimento de novos materiais e aos avançados equipamentos de processamentos de sinais. Neste trabalho são apresentados estudos no âmbito experimental e teórico a cerca do uso do controle ativo utilizando controlador feedforward, feedback e híbrido. O anti-ruído foi gerado utilizando a própria estrutura metálica dos dutos. Como fonte primária de excitação utilizou-se um alto-falante alimentado por um sinal senoidal. Os sinais de referência utilizados nos controladores foram captados por microfones colocados no interior dos dutos. O sinal captado no interior era ajustado e defasado para em seguida ser realimentado num atuador piezelétrico colado a estrutura do duto, geradora do anti-ruído.*

**Palavras-chave:** Atenuação, Controle, Realimentação, Anti-ruído, Piezelétrico.

## **1. INTRODUÇÃO**

Este trabalho desenvolve um estudo acerca do controle ativo de ruído usando mecanismos de controle *feedforward, feedback* e híbrido. Foram utilizados dutos metálicos, os quais tem configurações geométricas diferentes entre si.

O material apresentado aqui é parte integrante de um estudo de doutorado, em torno do controle ativo de ruído aplicado a dutos usando atuadores piezelétricos.

Grande parte da bibliografia disponível acerca do uso do controle ativo tem desenvolvimento puramente matemático ou se reporta exclusivamente ao uso de alto-falantes como fonte geradora do ruído de controle.

Dentre os artigos que auxiliaram os estudos, destaca-se o trabalho de Peng et al (1999), o qual propõe uma formulação matemática que busca descrever o comportamento do campo acústico, dando uma idéia matemática de como se analisar o comportamento dos materiais piezelétricos; assim como seu uso na forma de sensor. Os resultados reportam-se aos efeitos da redução de vibração ocorrida,

devido à simples mudança na colocação dos sensores e/ou atuadores. Assim como as variações ocorridas devido à mudança no ganho do amplificador de corrente em um sistema por realimentação.

Assim como Niekerk (1995), estudou a transmissão sonora através de uma placa de alumínio colocada no interior de um duto. Utilizando alto-falantes como fonte de excitação e de controle. Foi demonstrado o controle experimental de um distúrbio senoidal no estado estacionário na freqüência de 1 KHz, obtendo-se uma redução da ordem de 20 dB. Acima de 1200 Hz não foi notada nenhuma atenuação, cujo motivo alegado se devia a um inicio no decréscimo do ganho do controlador; assim como em freqüências abaixo de 200 Hz onde não foi verificado nenhuma atenuação, neste caso devido ao altíssimo ganho do controlador e à influencia de sinais externos presentes no experimento.

Já Strassberger et al (2000) fornece valores experimentais práticos no que diz respeito ao uso de atuadores piezelétricos no controle ativo de ruído, obtendo-se um nível de atenuação da ordem de 15 dB, cujos resultados são mais significativos nas freqüências de ressonância do sistema estudado.

## 2. MÉTODOS UTILIZADOS

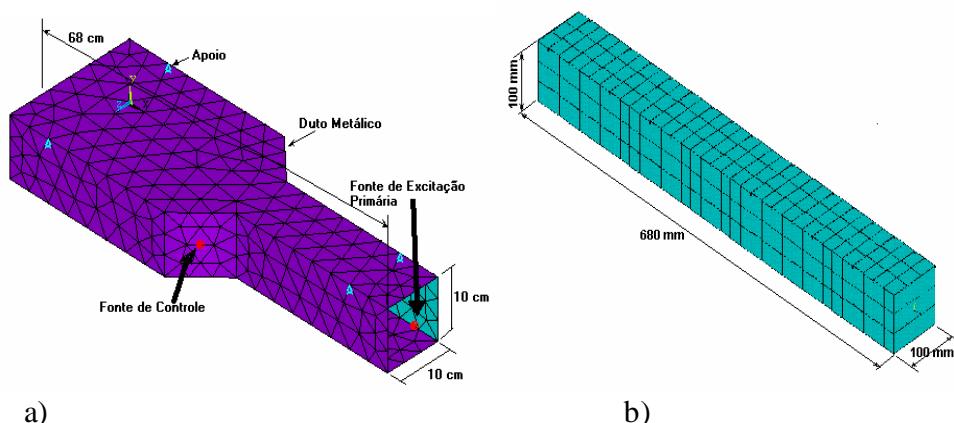
A seguir são descritos os procedimentos estabelecidos neste estudo, a ser apresentado em detalhes, o qual correspondeu a verificações de analise matemática via método de elementos finitos e através de medições experimentais em modelos reais físicos.

### 2.1. Simulação Numérica Utilizada

Para a simulação numérica utilizou-se a ferramenta do método dos elementos finitos. Utilizando o software Ansys.

Na modelagem das estruturas metálicas dos dutos utilizou-se o elemento SHELL63. Os modelos interagem com o volume de ar, produzindo um campo acústico.

Para o ar contido nos dutos utilizou-se o elemento FLUID30, o qual permite 4 graus de liberdade sendo x,y e z deslocamentos e PRES pressão.



**Figura 1. Modelo de elementos finitos utilizados nos dutos: a) Seção variável; b)Seção constante.**

As propriedades dos materiais utilizados também fixadas no programa computacional como forma de se simular matematicamente as condições de contorno nos modelos, as mesmas são mostradas na Tabela 1.

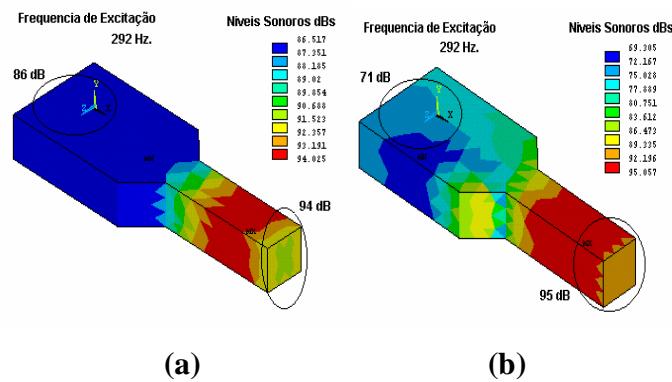
**Tabela 1. Algumas das propriedades materiais do Ar e do Zinco**

	Ar	Zinco
Módulo de Elasticidade “E”	-	8,2 E10
Coeficiente de Poisson “v”	-	0,25
Densidade “ρ” (Kg/m <sup>2</sup> )	1,21	7100,00
Pressão de Referencia “P <sub>o</sub> ” (N/m <sup>2</sup> )	20E-6	-
Espessura “e” (m)	-	0,0005
Velocidade do som no ar (m/s)	343	-

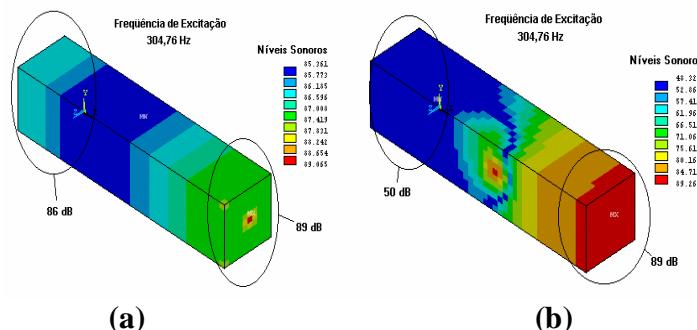
Foram atribuídas condições quanto ao sistema de fixação do modelo, presença de superfícies não-reflexiva e reflexiva, definição dos pontos de excitação simulando a fonte principal de ruído e da fonte de controle.

O desfasamento do sinal de controle foi feito atribuindo-se valores às componentes real e imaginária da pressão de excitação, cuja unidade de referência é o Pascal (Pa).

O método de resolução utilizado foi o HARMIC, o qual segundo manuais do Ansys (1995) o mesmo realiza um estudo do comportamento harmônico do campo acústico. Excitou-se acusticamente os modelos de elementos finitos na freqüência de ressonância, simulando-se uma fonte pontual na extremidade dos dutos. Os resultados finais são apresentados a seguir para serem analisados.



**Figura 2. Campo acústico produzido por simulação numérica:**  
a) Sem a presença da fonte de controle; b) Com a presença do controlador.



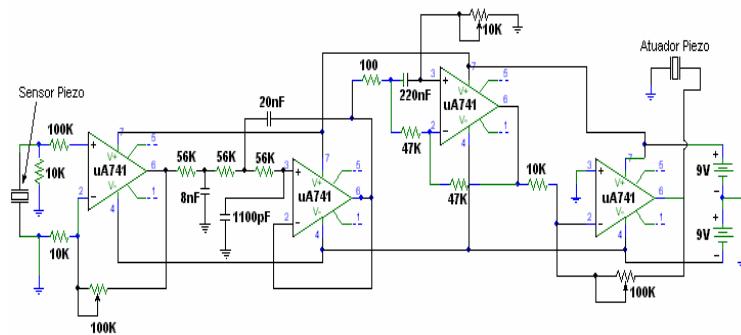
**Figura 3. Campo acústico no interior do duto, obtido por simulação numérica:**  
a) Sem a presença da fonte de controle; b) Com a presença do controlador.

## 2.2. Medição Experimental

Utilizaram-se dutos metálicos produzidos em ferro zinkado, cujas dimensões são iguais às mostradas na Fig. (1). Na superfície central dos dutos foi colada a cerâmica piezelétrica, a qual teve a função de atuador de controle.

### 2.2.1. Sistema Defasador de Sinal

Desenvolveu-se no laboratório um circuito eletrônico para amplificação e defasamento do sinal sonoro captado. Este dispositivo produzido durante o trabalho de doutorado de Silva et al (1998) foi a ferramenta principal empregada no sistema de controle ativo, projetada para funcionar como filtro passa baixa de terceira ordem; com freqüência de corte de 500 Hz, sua configuração é mostrada na Fig. (4).



**Figura 4. Esquema eletrônico do circuito de amplificação, filtragem e defasamento de sinal.**

Este circuito eletrônico foi utilizado no processo de controle *feedforward*, *feedback* e híbrido. Os equipamentos utilizados nas medições compreenderam basicamente a:

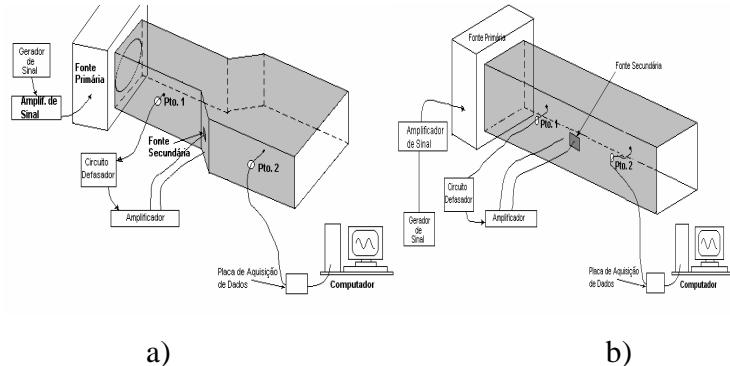
- Gerador de Função (Marca Minipa - MFG-4201)
- Caixa com Alto-falante
- Amplificador de Sinal
- Amplificador de Potencia
- Decibelímetros (Marca Minipa)
- Osciloscópio
- Analisador de Espectro (ADC100 - PicoScope )
- Computador com Programa de FFT

### 2.2.2. Processo de Medição Experimental

Primeiramente foi gerado um campo acústico primário utilizando-se um alto falante como fonte primária de excitação, fazendo-se uso de um gerador de função e um amplificador de sinal. Excitou-se o interior das estruturas dos dutos com sinal harmônico, numa freqüência de ressonância do modelo em questão; obtidas no decorrer do trabalho de doutorado de Melo et al (2004).

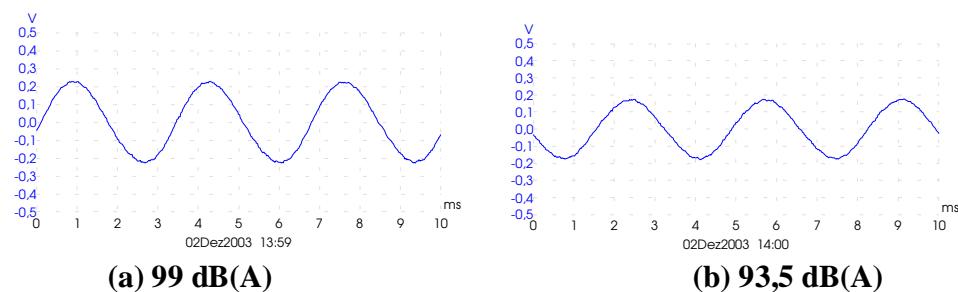
### 2.2.3. Processo de Controle *Feedforward*

No processo de controle por ação direta (*feedforward*), captou-se o sinal sonoro com o uso de um microfone posicionado conforme é mostrado na Fig. (5). Este sinal era amplificado, defasado e posteriormente injetado na placa piezelétrica de controle, colada à superfície dos dutos, gerando assim o anti-ruído. Os comportamentos do campo sonoro no interior dos dutos são mostrados na Fig. (6) e Fig. (7).

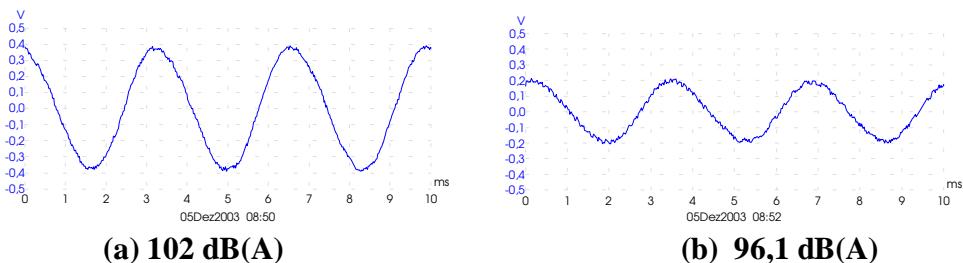


**Figura 5. Esquema com o controle de ação direta, Feedforward, aplicado aos dutos:**  
a) De seção variável; b) De seção constante.

Utilizando-se um sistema de medição conforme mostrado na Fig. (5), tem-se o seguinte comportamento do campo sonoro no domínio do tempo.



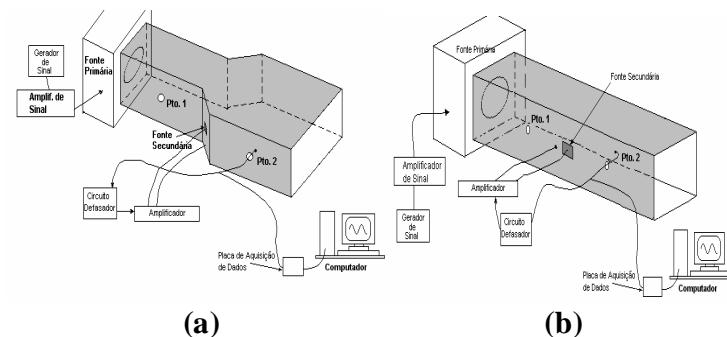
**Figura 6. Sinal sonoro captado no interior do duto de seção variável utilizando um controlador de ação direta (*feedforward*): a) controlador desligado; b) controlador ligado.**



**Figura 7. Sinal sonoro captado no interior do duto de seção constante utilizando um controlador de ação direta (*feedforward*): a) controlador desligado; b) controlador ligado..**

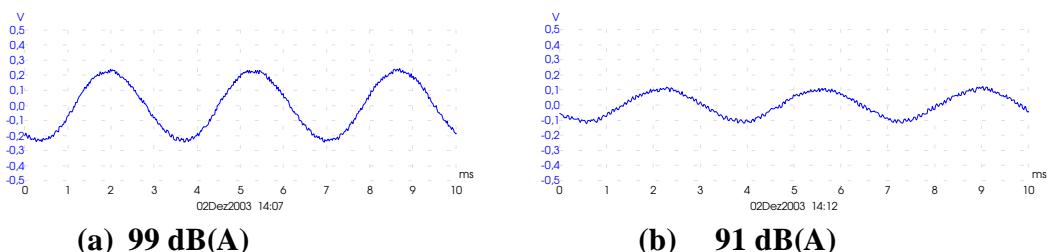
## 2.2.4. Processo de Controle *Feedback*

Para o processo de controle por realimentação (*feedback*), utilizou-se o mesmo equipamento, no entanto a posição de captação do sinal de referência difere bastante do caso anterior; como pode ser visto na Fig. (8), localizado numa posição posterior à fonte secundária de controle.

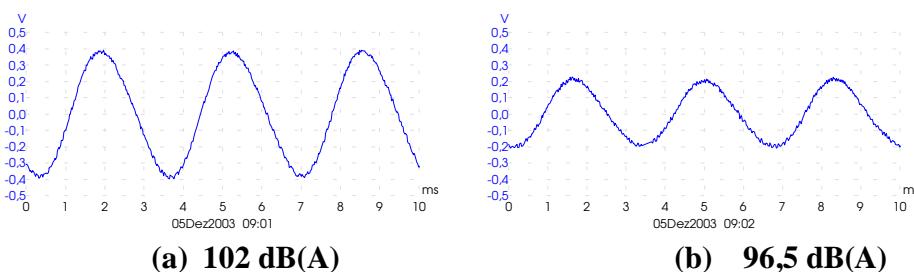


**Figura 8. Esquema com o controle por realimentação, Feedback, aplicado aos dutos: a) De seção variável; b) De seção constante.**

O sinal captado era em seguida defasado e amplificado, realimentando o atuador piezelétrico colado a superfície dos dutos. Os resultados são a seguir mostrados na Fig. (9) e Fig. (10).



**Figura 9. Sinal sonoro captado no interior do duto de seção variável utilizando um controlador por realimentação (feedback): a) controlador desligado; b) controlador ligado.**

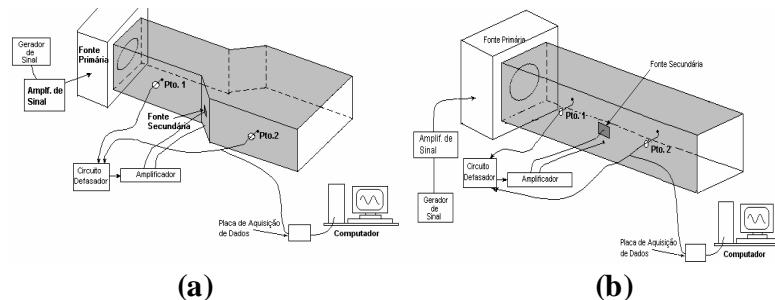


**Figura 10. Sinal sonoro captado no interior do duto de seção constante utilizando um controlador por realimentação (feedback): a) controlador desligado; b) controlador ligado.**

## 2.2.5. Processo de Controle Híbrido

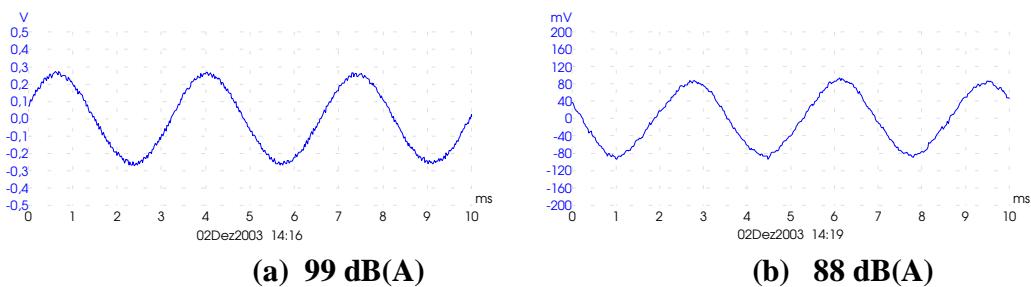
Para este processo de controle o sinal sonoro de referência é captado em duas posições relativas tais como utilizadas pelos controladores *feedforward* e *feedback*. Primeiramente é captado o sinal *feedforward* o qual é defasado e amplificado eletronicamente e injetado na fonte de controle. Este é ajustado de forma a se obter a máxima atenuação. Em seguida mantendo-se fixo o ajuste do módulo *feedforward*, faz-se a captação do sinal *feedback* de referência, o qual é defasado e amplificado num

módulo eletrônico independente. Sendo em seguida somado eletronicamente ao sinal *feedforward*. Injetando a soma dos dois sinais na placa piezelétrica colada a superfície metálica dos dutos analisados. Na Figura (11), tem-se o esquema de ligação dos equipamentos utilizados pelo processo de controle híbrido.

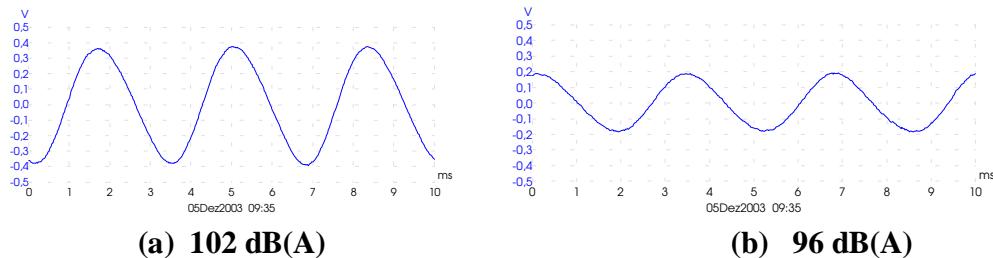


**Figura 11. Esquema com o controle por realimentação, Feedback, aplicado aos dutos: a) De seção variável; b) De seção constante.**

Nas Figuras (12) e (13) se tem as atenuações obtidas quando se utilizou o controlador híbrido nos dutos.



**Figura 12. Sinal sonoro captado no interior do duto de seção variável utilizando um controlador híbrido: a) controlador desligado; b) controlador ligado.**



**Figura 13. Sinal sonoro captado no interior do duto de seção constante utilizando um controlador híbrido: a) controlador desligado; b) controlador ligado**

### 2.3. Conclusão

Os resultados obtidos experimentalmente são promissores, pois se conseguiu uma atenuação da energia sonora com nível global da ordem de até 11 dB., no interior do duto.

As medições experimentais foram feitas num ambiente onde o ruído de fundo era da ordem de 47 dB(A), evitando assim alguma possível interferência na medições.

O modelo real estudado forneceu valores bem próximos ao obtidos por simulação numérica, mesmo levando em consideração que a técnica matemática parte de algumas simplificações.

Os valores experimentais em modelos físicos reais são promissores, pois se situa dentro de magnitudes bastante próximas das obtidas na literatura, atestando a qualidade e eficiência dos métodos de controle aplicados. A utilização da cerâmica piezelétrica propicia um ganho formidável em termos de espaço físico ocupado na estrutura dos dutos, que não se consegue caso fosse utilizado alto-falantes como fonte de controle.

### **3. AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Universidade Federal da Paraíba pelo apoio técnico e financeiro aplicado neste trabalho, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para o aprimoramento deste trabalho e agradeço a Deus por este ser a fonte de nunca se desistir dos ideais que se busca.

### **4. REFERÊNCIAS**

- Melo, N. M.; Dana, S. S.; Silva, S. A., 2004, “Controle Ativo de Ruído Sonoro Aplicado a Dutos”, Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.
- Manuais do Software Ansys., 1995, “Procedures, Commands and Elements Manuals”, Manuals Techniques, Leuven, Bélgica.
- Niekerk, J. L. V.; Packard, K.; Tongue, H., 1995, “Active Control Of A Circular Plate To Reduce Transient Noise Transmission”, Journal of Sound and Vibration, University of California at Berkeley, USA. Vol. 183(4) pp. 643-662.
- Peng, X. Q.; Liu, G. R.; Lam, K. Y.. 1999, “Vibration Control Simulation Of Laminated Composite Plates With Integrated Piezoelectrics”, Journal of Sound and Vibration, National University of Singapore, Singapore. Vol. 220(5), pp. 827-846.
- Silva, S. A.; Dana, S. S., 1998, “Controle Ativo de Vibração e Ruído em Estruturas Flexíveis Utilizando Atuadores Piezelétricos”, Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.
- Strassberger, M.; Waller, H., 2000, “Active Noise Reduction By Structural Control Using Piezo-Electric Actuators” Mechatronics Journal, Ruhr-Universitaet Bochum, Germany, Vol. (10), pp. 851-868.

### **5. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho. Os quais podem ser contatados conforme endereço e afiliações citadas no corpo do texto.

#### **Active Noise Control Applied on Ducts**

##### **Naor Moraes Melo**

Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, Av. 1º de Maio, 720 – Jaguaribe, João Pessoa, PB, [naor.melo@bol.com.br](mailto:naor.melo@bol.com.br)

##### **Simplício Arnaud da Silva**

Universidade Federal da Paraíba, Campus I, Cidade Universitária, João Pessoa, PB, [arnaud@dtm.ct.ufpb.br](mailto:arnaud@dtm.ct.ufpb.br)

##### **Seyyed Said Dana**

Universidade Federal da Paraíba, Campus I, Cidade Universitária, João Pessoa, PB, [dana@dtm.ct.ufpb.br](mailto:dana@dtm.ct.ufpb.br)

**Abstract.** In actually, the noise sound is one the big factors to be controlled and agreement. The exposition of the heard human at high levels can commit partly or completely your function and operation. Among the several techniques available to the noise control at the present time, the active control is having a great development in the last years, motivated by the new materials and advanced equipments in the signals processing, as well as, by the fact of the other control techniques to present limitations and restrictions. This work will present studies in the experimental and theoretical ambit. Through by the system feed forward and feedback, in the both process. The noise control it was generated using the metallic structure of the ducts. The original source consisted by speaker, exciting the system. And electronic devices were developed to make the delayed among in the required signals, it was used harmonic tones in the studies (senoidal signals), in a frequency interest. This signal control it was injected by the PZT glued in the metallic structure ducts. Obtained the performance in terms from de noise attenuated, using different kinds of ducts.

**Keywords.** Attenuation, Control, Feedback, Noise Sound Control, Piezoelectric.