



## **RESPOSTA DINÂMICA DO DISPOSITIVO DE ABERTURA RÁPIDA PARA CALIBRAÇÃO DINÂMICA DE SENSORES DE PRESSÃO–INFLUÊNCIA DOS GASES UTILIZADOS**

**Elpídio Quinderé Fritsche**

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, 70910-900, Brasília – DF, [quinda@terra.com.br](mailto:quinda@terra.com.br)

**Fernando Jorge Rodrigues Neves**

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, 70910-900, Brasília – DF, [ferneves@unb.br](mailto:ferneves@unb.br)

***Resumo.** Neste trabalho avalia-se a influência da combinação e tipo dos gases utilizados para o enchimento das câmaras do dispositivo de abertura rápida, na geração do degrau de pressão obtido por este dispositivo. A análise é feita através da curva de resposta de um sensor de pressão excitado por um degrau de pressão gerado pelo dispositivo de abertura rápida. O dispositivo de abertura rápida é descrito detalhadamente, bem como a instrumentação utilizada e a metodologia adotada nos experimentos. Os sinais de pressão obtidos utilizando ar como gás de operação são comparados com sinais obtidos utilizando várias combinações de hélio e dióxido de carbono. Os resultados experimentais indicam diferenças significativas na geração do degrau de pressão para praticamente todas as combinações de gases testadas, sendo particularmente marcantes para as combinações hélio/ar e dióxido de carbono/dióxido de carbono.*

***Palavras-chave:** dispositivo de abertura rápida, calibração dinâmica, sensor de pressão, metrologia.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Sensores de pressão são utilizados muitas vezes na medição de variações de pressão que ocorrem em pequenos intervalos de tempo. Esta aplicação estende-se a diversas áreas, como o monitoramento da pressão no interior de cilindros de motores de combustão interna, na detecção de defeitos em sistemas de bombas hidráulicas ou mesmo em sistemas cardiovasculares (Carvalho, 1995).

Nestas situações, o sensor de pressão deve responder com adequada fidelidade, às variações de pressão a que está sendo submetido. Portanto, surge a necessidade de se calibrar dinamicamente o sensor, para se ter confiabilidade nas leituras feitas pelo mesmo. A calibração dinâmica consiste na determinação das características dinâmicas do sensor que, em geral, se realiza da melhor forma pela determinação de sua Função de Transferência.

Dada a diversidade de sensores disponíveis, existem vários tipos de dispositivos de calibração, apropriados para diferentes regimes de frequência e de amplitude sinal. Estes dispositivos possuem faixas de operação bem definidas (Diniz, 1994)

Dentre os dispositivos de calibração, destaca-se o Dispositivo de Abertura Rápida – DAR –, utilizado para sensores de pressão operando em frequências comparativamente baixas e, em níveis moderados de amplitude de sinal. No processo de calibração, o DAR gera um degrau de pressão. A resposta dinâmica do sensor em calibração a este degrau é a base para a calibração.

O sinal de pressão gerado pelo DAR deve ser o mais próximo possível de um degrau teórico, e certamente, para que possa ser usado como referência, deve ter características conhecidas. O sinal gerado é influenciado por vários fatores ligados não só à forma construtiva, mas também à operação do equipamento. Assim, para qualificação do dispositivo construído, desenvolveu-se um programa de avaliação da influência de alguns destes fatores.

Este trabalho trata da influência da composição dos gases utilizados para o enchimento das câmaras do DAR na “qualidade” do degrau de pressão obtido.

## 2. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO E APARATO EXPERIMENTAL

O dispositivo é constituído basicamente por duas câmaras, interligadas pela Válvula de Abertura Rápida que dá o nome ao dispositivo. A câmara menor possui o volume de  $12.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ . O volume da câmara maior é, aproximadamente, 3000 vezes maior que o da primeira. A válvula de abertura rápida tem acionamento pneumático e foi projetada para que a comunicação plena entre as duas câmaras se estabeleça o mais rapidamente possível. A velocidade de abertura da válvula é influenciada pela pressão de acionamento da mesma, que é, portanto, um dos fatores de controle da qualidade do sinal gerado.

O dispositivo de abertura rápida, bem como detalhes da câmara menor e da válvula de acionamento pneumático, são mostrados na Fig. (1).

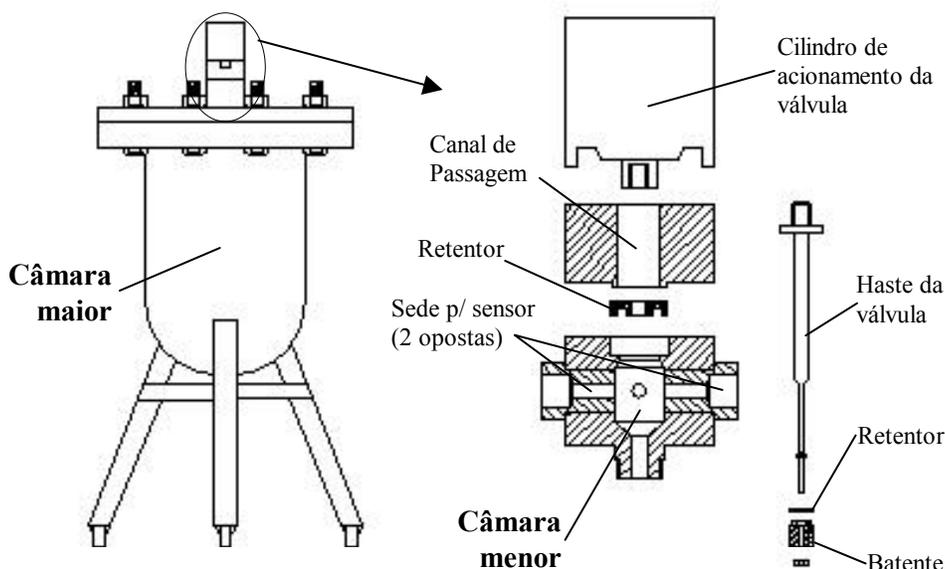


Figura 1. Dispositivo de abertura rápida com detalhe da câmara menor e da válvula

O sensor de pressão é instalado na câmara menor. O dispositivo foi projetado para que normalmente, o ensaio seja realizado com pressão na câmara maior superior à da câmara menor e, portanto, com a abertura da válvula, há passagem de gás da câmara maior para a menor. Devido à grande diferença de volume entre as câmaras, após a abertura da válvula, a pressão final na câmara menor torna-se praticamente igual à pressão inicial na câmara maior. Assim, o sensor é submetido a um degrau de pressão que corresponde à diferença entre as pressões iniciais nas duas câmaras.

Em operação normal, o procedimento de calibração pode ser relativo ou absoluto. No primeiro caso, o sensor a calibrar e um sensor padrão, de resposta conhecida, são submetidos a um mesmo degrau gerado pelo DAR. O resultado da calibração é obtido usando o sinal do sensor padrão como referência. No segundo caso, não é utilizado sensor padrão. A calibração é obtida usando como referência um degrau teórico, ou a resposta conhecida do DAR nas condições de teste. Deve-se observar que o degrau de pressão é de duração infinita. Por isso, são necessários procedimentos

matemáticos apropriados para se obter uma estimativa da Função de Resposta em Freqüência, uma vez que as transformadas de Fourier dos sinais não convergem (Villa, 2000).

Diferentemente do procedimento de calibração, nos testes aqui descritos pretende-se qualificar o comportamento do próprio Dispositivo de Abertura Rápida. Assim, usou-se um sensor padrão, de características conhecidas e resposta dinâmica muito mais rápida que o próprio DAR, para se obterem estimativas do comportamento dinâmico do dispositivo, nas várias condições de teste. Pode-se admitir que a Função de Transferência do sensor padrão não induz distorções de amplitude ou fase na faixa de freqüência de operação do DAR. Na determinação de Funções de Transferência usa-se como referência um degrau teórico.

A Figura (2) apresenta de forma esquemática o aparato experimental utilizado. A bomba de vácuo é usada para retirar o ar das câmaras do dispositivo, de forma que, ao utilizar os outros gases nas câmaras, a contaminação pelo ar seja a menor possível.

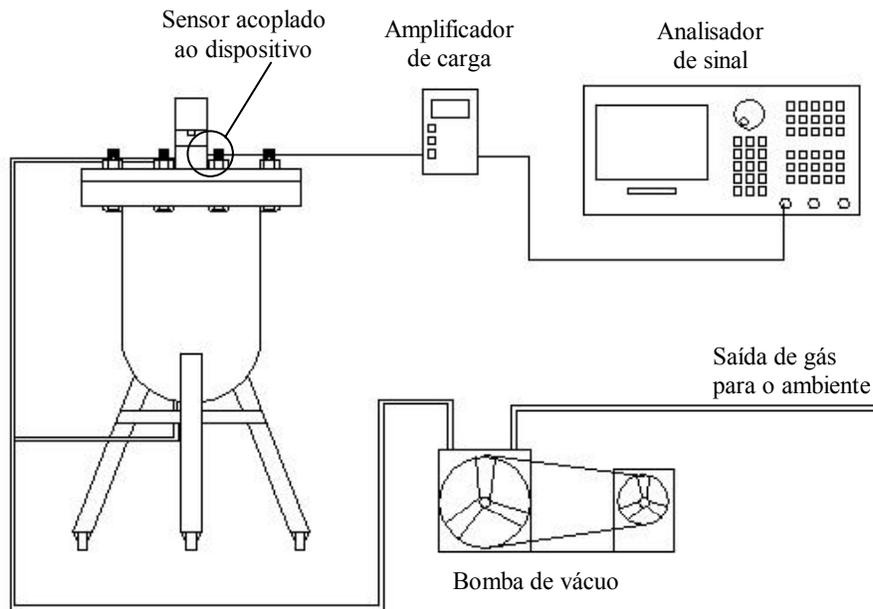


Figura 2. Aparato experimental

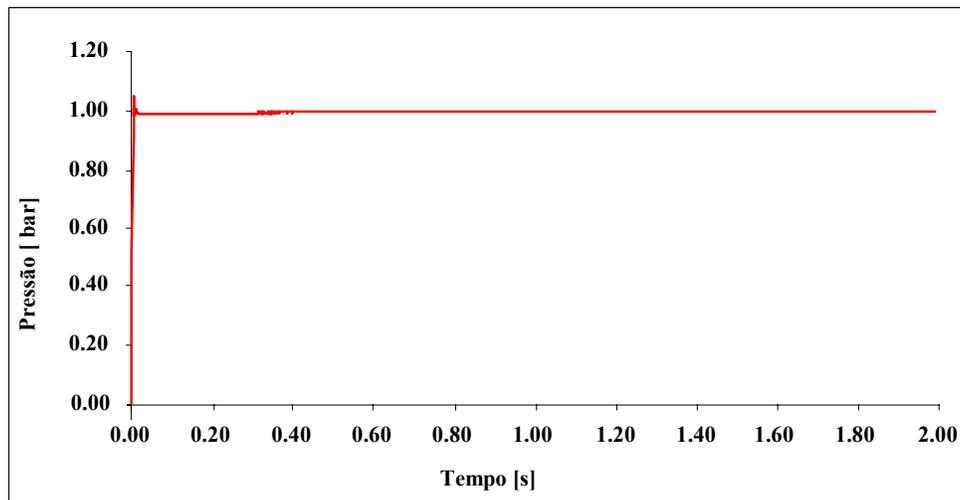


Figura 3. Sinal de pressão gerado pelo DAR

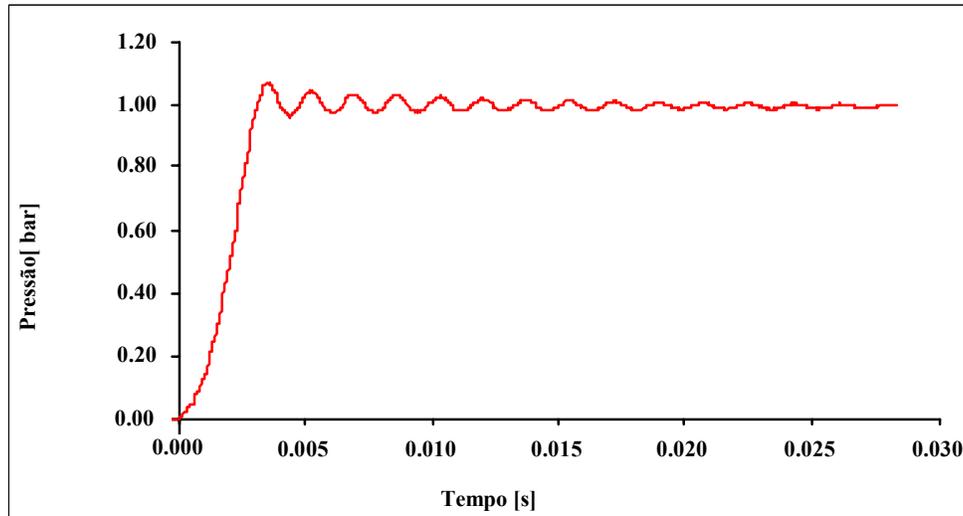


Figura 4. Gráfico com o eixo das abcissas expandido

O degrau de pressão gerado pelo DAR excita o sensor piezoelétrico de pressão fixado na câmara menor. Este, por sua vez, converte a variação de pressão que lhe é imposta em variação de carga elétrica. O sinal de carga gerado é processado por um amplificador de carga e transmitido a um analisador de sinal onde é adquirido e processado.

As Figuras (3) e (4) apresentam um sinal obtido pelo dispositivo de abertura rápida com degrau de 1 bar de pressão. A diferença entre as duas é apenas o tempo de amostragem. O gráfico com o eixo das abcissas expandido, na Fig. (4), mostra o tempo de subida finito do degrau real, e a oscilação amortecida, características deste DAR.

### 3. METODOLOGIA

Utilizam-se neste experimento, ar, hélio e dióxido de carbono como gases de calibração. As várias combinações usadas nos ensaios são mostradas na Tab. (1):

Tabela 1. Combinações dos gases utilizados nos ensaios

Ensaio	Câmara maior	Câmara menor
Ar/Ar	Ar	Ar
He/Ar	Hélio	Ar
CO <sub>2</sub> /Ar	Dióxido de carbono	Ar
Ar/CO <sub>2</sub>	Ar	Dióxido de carbono
CO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono	Dióxido de carbono
He/He	Hélio	Hélio
Ar/He	Ar	Hélio

No ensaio Ar/Ar, o procedimento de teste é iniciado simplesmente pressurizando as câmaras do dispositivo, com a válvula de abertura rápida fechada. A câmara maior é pressurizada até uma pressão de 3 bar. A câmara menor é também pressurizada, só que com uma pressão de 2 bar, obtendo-se, portanto, o degrau de 1 bar de pressão. Estes valores de pressão são também usados para os testes com os outros gases.

Como já citado, a pressão de acionamento da válvula influi na resposta obtida. Fixou-se o valor da pressão de acionamento da válvula em 4.89 bar. Este valor foi mantido também constante para todos ensaios reportados neste trabalho.

Estabilizadas todas as pressões, promove-se a abertura da válvula e a aquisição do sinal pelo analisador. A válvula é fechada depois de completada a aquisição.

Para completar cada ensaio foram realizadas 8 repetições, mantendo-se todos os parâmetros do processo constantes, sendo 4 repetições realizadas com tempo de aquisição de 0.030 segundos e outras 4 com tempo de aquisição de 2 segundos. Para cada repetição as pressões iniciais das câmaras foram corrigidas e estabilizadas.

Nos ensaios em que se utiliza hélio ou dióxido de carbono, faz-se necessário o uso de uma bomba de vácuo para a retirada do ar das câmaras do dispositivo antes de se introduzir o novo gás de calibração. Portanto, antes de iniciar os ensaios, realiza-se a lavagem das câmaras, que consiste em evacuar as câmaras e depois pressurizá-las com o novo gás de calibração até à pressão de trabalho, ou seja, 3 bar se a câmara for a maior e 2 bar se a câmara for a menor. O procedimento é realizado mais de uma vez consecutivamente, de forma a reduzir progressivamente a parcela de ar remanescente, após a carga com outro gás. A lavagem da câmara maior é repetida 4 vezes para o hélio e 3 vezes para dióxido de carbono. Na câmara menor, tanto para o hélio como para o dióxido de carbono, a lavagem é feita 4 vezes. O número de lavagens foi determinado a partir do cálculo da contaminação remanescente em cada caso.

Nos casos dos ensaios He/Ar, CO<sub>2</sub>/Ar, Ar/CO<sub>2</sub> e Ar/He há contaminação do gás na câmara menor por aquele contido na câmara maior após cada abertura da válvula. Nestes casos, a cada repetição a câmara menor é evacuada e pressurizada 4 vezes.

O restante do procedimento é idêntico ao do ensaio Ar/Ar.

#### 4. RESULTADOS

Realizados os ensaios com as várias combinações, especificadas na Tab. (1), obtiveram-se as curvas apresentadas no gráfico da Fig. (5). Na Fig. (6) são apresentadas apenas as três curvas correspondentes aos ensaios em que foram obtidos o menor e o maior tempo de subida, bem como o ensaio AR/AR, para referência.

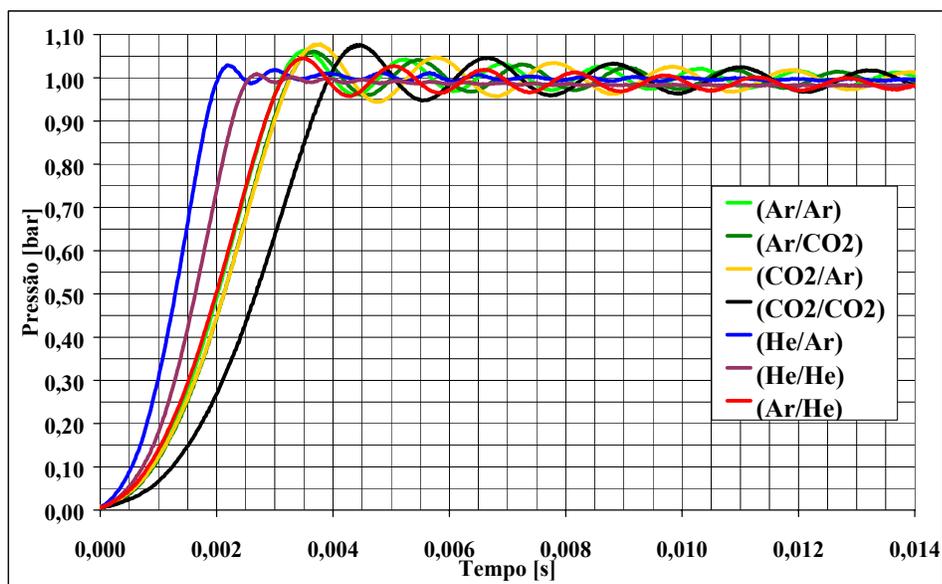


Figura 5. Gráfico para avaliação do tempo de subida e do *overshoot*

Estas curvas representam as médias das 4 repetições de cada ensaio para o tempo de aquisição de 0.030 segundos. Pode-se, por elas, avaliar a influência da combinação dos gases de calibração no degrau de pressão gerado pelo dispositivo de abertura rápida.

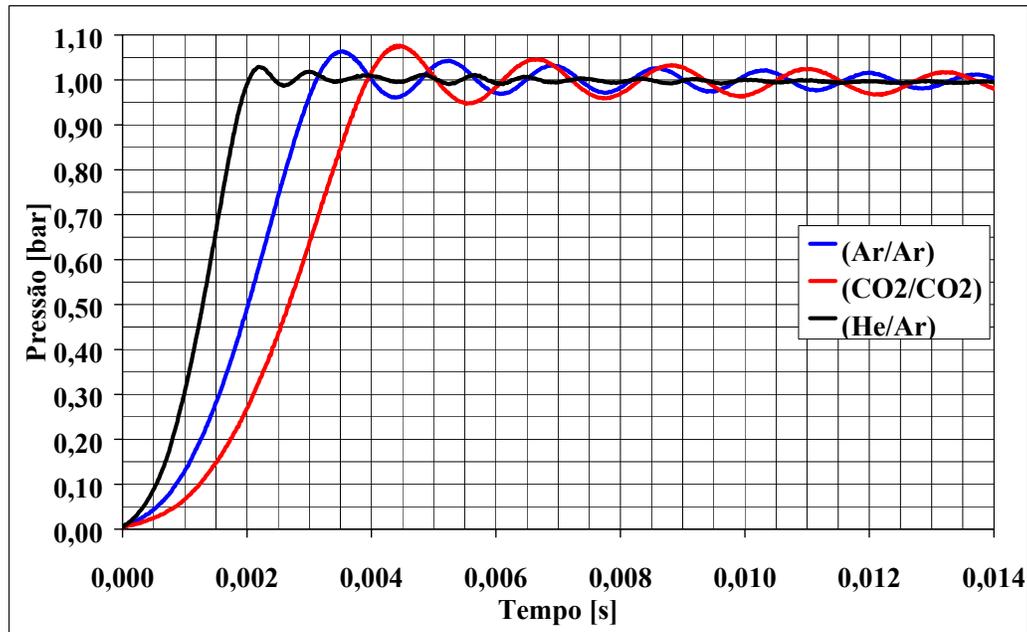


Figura 6. Respostas para os casos com menor e maior tempo de subida

Observando as figuras, pode-se constatar que, com a utilização do dióxido de carbono, que possui uma massa específica maior que a do ar, verifica-se um aumento no tempo de subida do sinal de pressão, com relação ao ensaio AR/AR. Isto é observado principalmente no ensaio CO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>. Já com a utilização de hélio, que possui uma massa específica menor que a do ar, o tempo de subida do sinal de pressão diminuiu. É interessante notar que este efeito é mais destacado no ensaio He/Ar do que no He/He.

As figuras mostram ainda que o *overshoot* é maior com a utilização do dióxido de carbono, principalmente nos ensaios em que o gás foi usado na câmara grande. Com a utilização do hélio o *overshoot* diminuiu.

Os efeitos são mais marcantes quando se altera a composição dos gases da câmara maior.

Considerando que as características dinâmicas do dispositivo são melhor representadas por curvas de resposta em frequência, estas foram calculadas para cada ensaio. De fato, estas curvas descrevem o comportamento dinâmico do DAR, mostrando a faixa de frequência utilizável em cada situação de operação.

No caso presente não existe sinal de entrada no sistema. Define-se como resposta em frequência do DAR, aquela que se obtém tomando como sinal de referência (ou entrada) um degrau teórico (não obtido experimentalmente). Para obtenção das curvas apresentadas utilizou-se o programa RFREQ (Villa, 2000).

Novamente, ressalta-se que o sensor usado tem uma função de transferência linear (magnitude e fase) na faixa de frequências analisada, de forma que a Função de Resposta em Frequência obtida é uma boa estimativa do comportamento dinâmico do dispositivo de abertura rápida.

As Figuras (7), (8) e (9) contêm os resultados obtidos com os dados para os ensaios Ar/Ar, He/Ar e CO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, com tempo de aquisição de 2 segundos. Apenas os gráficos de magnitude da resposta em frequência são apresentados. Foi calculada, também, a incerteza de medição (ISO, 1995) para uma confiabilidade de 95% e com 3 graus de liberdade, que consta dos gráficos.

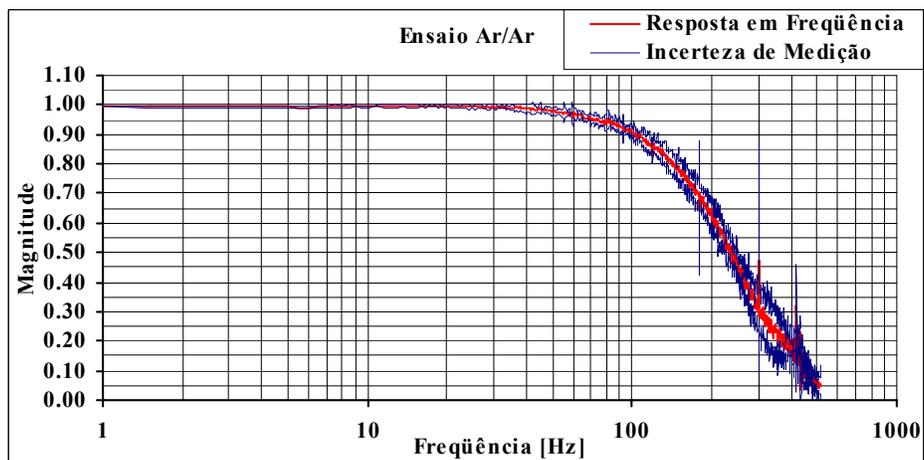


Figura 7. Gráfico de resposta em frequência (magnitude) do dispositivo para o ensaio Ar/Ar

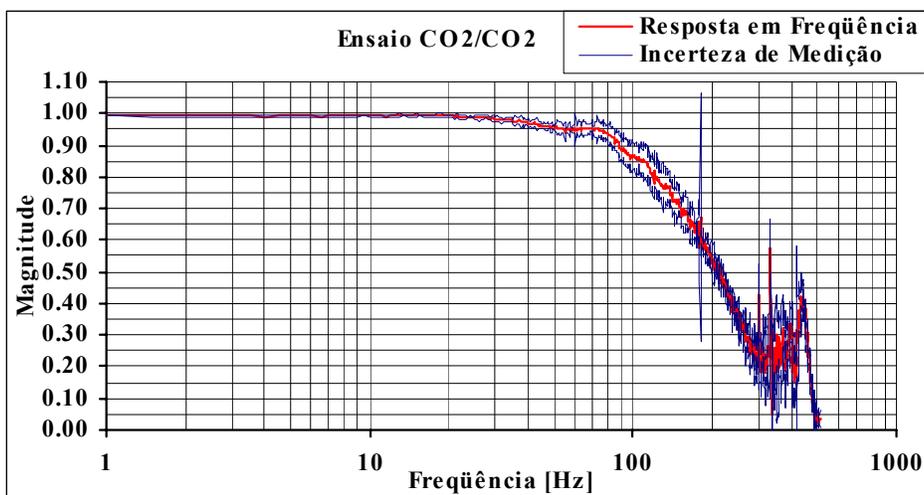


Figura 8. Gráfico de resposta em frequência (magnitude) do dispositivo para o ensaio CO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>

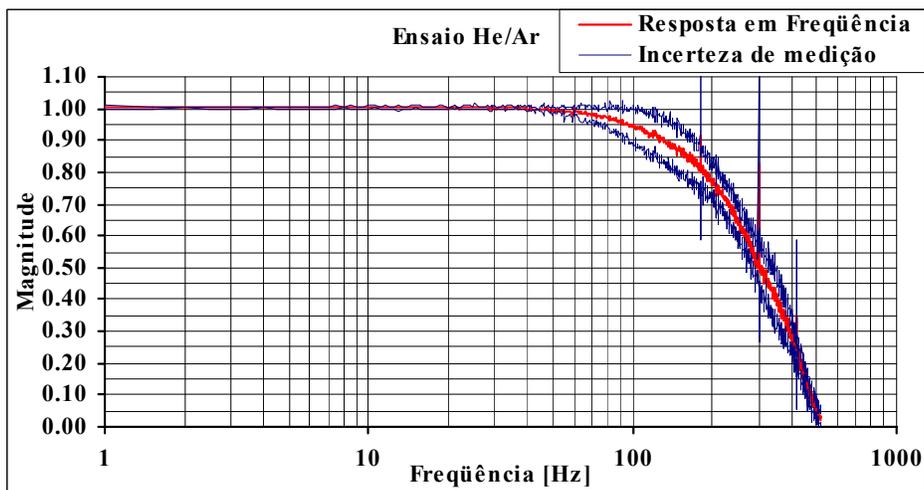


Figura 9. Gráfico de resposta em frequência (magnitude) do dispositivo para o ensaio He/Ar

As curvas de resposta em frequência apresentam um patamar de ganho unitário em baixas frequências, para todos os casos. A partir de determinada frequência de corte, que depende dos gases usados no ensaio, tem-se uma degradação da resposta, como seria de esperar para o dispositivo de abertura rápida.

A especificação dessa frequência de corte permite qualificar o DAR, determinando a faixa de utilização do dispositivo para as diversas condições de ensaio. Para a definição da faixa de frequências utilizável, arbitrou-se aqui o nível 0.95.

As figuras mostram como a escolha do gás de calibração modifica a faixa de frequências utilizável do dispositivo. Para o ensaio Ar/Ar (e para o nível de corte arbitrado) a faixa vai de 0 a 70 Hz. Com a utilização do dióxido de carbono como gás de calibração, a faixa de utilização do dispositivo diminui e fica entre 0 e 60 Hz. Para o caso em que é usado hélio na câmara maior, há uma subida do limite superior da faixa de utilização para 100 Hz.

Portanto, a faixa de trabalho do dispositivo aumenta com a utilização do gás de massa específica menor que a do ar. Com o uso de um gás de calibração de massa específica maior que a do ar a faixa diminuiu.

Os baixos valores de incerteza de medição indicaram uma boa repetibilidade do sinal de pressão, dando confiabilidade aos resultados mostrados, abaixo da frequência de corte.

## 5. CONCLUSÃO

A massa específica do gás utilizado na calibração de sensores de pressão exerce influência significativa na qualidade do degrau de pressão gerado pelo Dispositivo de Abertura Rápida. Em princípio, pode-se dizer que quanto menor a massa específica do gás de calibração menor é o tempo de subida e o *overshoot* do sinal de pressão. Por outro lado, o uso do gás de menor densidade leva a uma expansão da faixa de frequências em que o dispositivo é utilizável. É no entanto de assinalar que a combinação He/Ar apresenta melhores resultados que o uso de hélio em ambas as câmaras (He/He).

## 6. REFERÊNCIAS

- Carvalho, M.A.M., 1995, “Estudo e Aplicação Metrológica do Tubo de Choque para a Calibração Dinâmica de Sensores de Pressão”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 187p.
- Diniz, A.C.G.C., 1994, “Gerador Periódico para Calibração Dinâmica de Transdutores de Pressão”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 122p.
- ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION), 1995, “ISO TAG4/WG3 – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement”, Switzerland.
- Villa, C.V.S., 2000, “RFREQ – Software para Calibração Dinâmica de Transdutores de Pressão”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 132p.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## **DYNAMIC RESPONSE OF THE QUICK-OPENING VALVE DEVICE FOR THE DYNAMIC CALIBRATION OF PRESSURE TRANSDUCERS – INFLUENCE OF THE GASES USED**

**Elpídio Quinderé Fritsche**

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, 70910-900, Brasília – DF, Brazil, [quinda@terra.com.br](mailto:quinda@terra.com.br)

**Fernando Jorge Rodrigues Neves**

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, 70910-900, Brasília – DF, Brazil, [ferneves@unb.br](mailto:ferneves@unb.br)

***Abstract.** In this work, the influence of the gas composition used for filling the Quick Opening-valve Device on the pressure step generated by the device is studied. The analysis is done using the response of a standard sensor to pressure steps generated by the device. The Quick Opening-valve Device is described, as is the instrumentation setup and methodology used. Pressure signal generated using air are compared with those obtained using various combinations of helium and carbon dioxide. The results obtained indicate significant differences in the generated pressure step for almost all the combinations of gases tested, being particularly clear for the helium / air and carbon dioxide / carbon dioxide combinations.*

***Keywords.** Quick opening-valve device, dynamic calibration, pressure transducer, metrology.*