

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO VIBROACÚSTICA DE VAZAMENTOS A PARTIR DE SEÇÕES DE DUTOS PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS

AUTORES:

Flávia Morini Garcia; Marinho Bastos Quadri; Ricardo A. F. Machado; Ariovaldo Bolzan

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Santa Catarina

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO VIBROACÚSTICA DE VAZAMENTOS A PARTIR DE SEÇÕES DE DUTOS PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS

Abstract

The implementation of leak-detection technologies is essential for managing the integrity of pipelines in oil and gas industries. Thus, the objective of the study is to develop an experimental methodology vibroacoustic seeking to establish a characterization of leaks caused by structural failure in sections of pipelines. The methodology in its first phase, consisted of the following: capture, conditioning and burning of vibroacoustic signals for later analysis. To capture the signal, the sensor chosen was the piezoelectric accelerometer. In a second step, signal-processing tools were used. The research is in early stages, but initial results were promising. The initial results indicate that it is possible to distinguish, through the frequency spectrum of the signal, an event for the casting of an event of mechanical shock on the structure. Thus, it is intended to contribute to the improvement of acoustic techniques that usually seek unidentified isolate a pattern of frequencies in the midst of several other signals from events in the normal operation in pipelines.

Introdução

Milhares de redes de dutos têm sido construídas em todo o mundo com a finalidade de transportar variados produtos a partir de refinarias, de campos de petróleo e de bases de distribuição. Segundo Macias (2004), a cada ano são transportados, por tubulações terrestres e submarinas, diversos produtos com valor estimado em milhões de dólares. Portanto, as tubulações são consideradas o melhor meio para se transportar fluídos a longas distâncias, uma vez que apresentam menor custo de transporte quando comparado com o rodoviário, ferroviário ou marítimo; são mais seguras que qualquer outro meio de transporte, apresentando a menor taxa de acidentes e de danos causados ao meio ambiente, além de serem muito eficientes em termos de energia (SOUZA, 2007).

Neste contexto, a preocupação com possíveis vazamentos em redes de tubulações é um assunto que esteve sempre em pauta neste processo de expansão da empregabilidade dos mesmos. De acordo com Souza (2007), os vazamentos podem ocorrer devido a variações bruscas na pressão, ação corrosiva ou manutenção inadequada. Um pequeno percentual de perda pode gerar eventos com significantes impactos econômicos, danos ambientais e prejuízos para a segurança pessoal. Entre as técnicas para detecção de vazamentos em dutos de petróleo e gás, citam-se como as mais relevantes: método estatístico, redes neurais artificiais, ondas de pressão negativa, balanço de volume, gradientes de pressão, variações inesperadas, a observação, a modelagem matemática, métodos baseados em sensores (SHEHADEH; STEEL; REUBEN, 2006; ZHANG, 2001).

Dentre todas as técnicas citadas, a detecção através de sensores acústicos e de vibrações é uma das que mais vem sendo utilizada e desenvolvida por pesquisadores e empresas para efetivamente localizar e prevenir vazamentos ao longo de dutos. De acordo com Wieczorek (2003), através desta técnica é possível detectar pequenos vazamentos em um pequeno intervalo de tempo, além de apresentar a vantagem de poder ser aplicada em vários materiais com diferentes espessuras, além de estruturas em operação, à temperatura ambiente ou elevada.

O método de inspeção acústica, ainda segundo Wieczorek (2003), fundamenta-se no crescimento de uma descontinuidade provocado por uma tensão que irá emitir um sinal sonoro (ondas acústicas). Essas ondas viajam pela estrutura e fluidos, e são captadas por sensores posicionados ao longo do

duto. A localização das discontinuidades pode ser estimada mediante os tempos de chegada dos sinais aos sensores. A localização precisa, assim como o tamanho e a orientação da discontinuidade, pode ser obtida com o auxílio de outras técnicas não-destrutivas. A vantagem desse método é que ele pode fazer a supervisão de uma grande área da planta com a instalação de apenas alguns sensores. O uso de filtros, para que o sinal não seja corrompido por ruídos de operação ou ambientais, e também técnicas de processamento de sinal são importantes para uma melhor sensibilidade e sucesso do método.

Desta forma, o conhecimento prévio das características dos sinais associados ao vazamento é um fator crucial para a correta identificação da situação de vazamento em operações de campo na indústria do petróleo. Este trabalho tem como objetivo o estudo da caracterização do sinal vibroacústico gerado por um jato de fluido a partir de um orifício subitamente aberto na parede de um segmento de duto. Tal análise pretende se constituir em elemento adicional de desenvolvimento e aprimoramento junto às técnicas no momento disponíveis para a identificação e detecção de vazamentos na indústria de petróleo e gás.

Metodologia

Procurou-se construir a bancada experimental de forma que a mesma pudesse representar adequadamente um vazamento de petróleo ou gás conforme pode ocorrer na indústria. Por isso, foram descartados protótipos que utilizassem válvulas para simular a abertura do vazamento. Projetou-se, assim, uma seção de duto de aço inox com 2 m de comprimento e 10 cm de diâmetro interno, com espessura da parede de 5,7 mm.

Foram realizados experimentos pressurizando a seção de duto com ar comprimido a pressões entre 2 e 6 kgf/cm². Vazamentos de gás foram simulados através de um orifício, de diâmetro igual a 4 mm, localizado na lateral do duto. Os vazamentos foram acionados através de uma fechadura eletromagnética ou alternativamente pela liberação manual de parafina aplicada como vedação sobre o orifício de vazamento. A Figura 1, abaixo, mostra a seção de duto suspensa munida de um manômetro, com a mangueira para a admissão de ar, tampas de vedação e uma placa plana parafusada na lateral onde se encontra o orifício de vazamento.

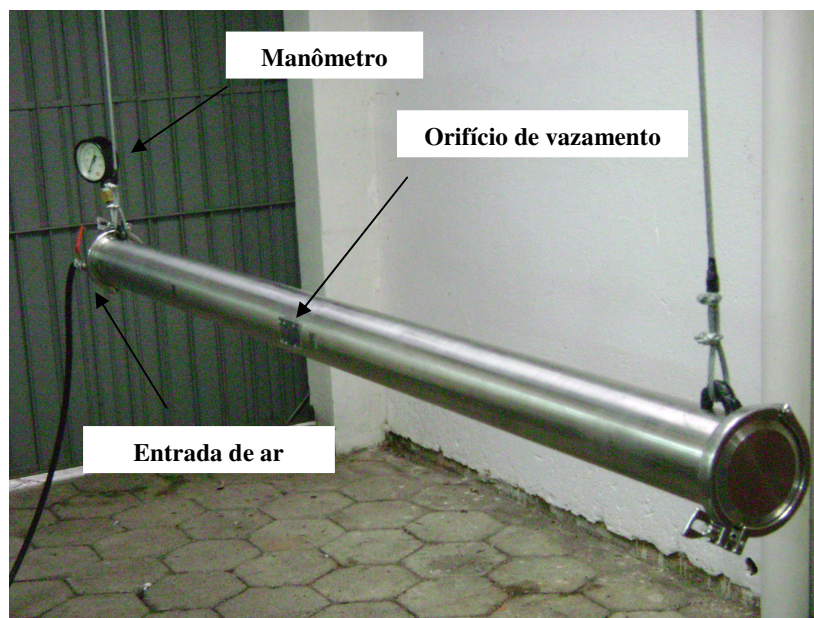


Figura 1 – Seção de duto utilizada no trabalho.

Para a captação dos sinais produzidos pelo vazamento foram utilizados dois acelerômetros piezoelétricos (Figura 2) que fizeram a conversão da energia mecânica da onda elástica em energia elétrica. Um transdutor ideal deve fornecer uma diferença de potencial diretamente proporcional ao deslocamento, velocidade ou aceleração no ponto de medida. Este sensor ideal deveria operar em todo o espectro de frequências sem introduzir qualquer ruído no sinal e sem perturbar o deslocamento da onda. De fato, tal sensor não existe e fez-se necessário optar por um que melhor se enquadrasse às necessidades da pesquisa, segundo as demandas de sensibilidade e faixa de frequências.



Figura 2 – Acelerômetro piezoelétrico utilizado nos experimentos.

Durante o experimento, a seção de duto foi pressurizada e o orifício de vazamento foi subitamente aberto através da fechadura eletromagnética ou através da liberação manual do selo de parafina. Junto ao furo e em uma das extremidades da seção de duto, foram fixados os acelerômetros, modelo 4793 fabricados pela *Bruel & Kjaer*, destinados a captar o sinal emitido pelo vazamento. Um condicionador de sinais foi responsável por adequar os sinais analógicos destinados a posterior conversão digital. Esse condicionador é responsável pela amplificação e filtragem dos sinais, diminuindo eventuais interferências que podem ser originadas por fontes diversas como radiofrequência, rede elétrica, aterramento etc. O condicionador também proveu a alimentação dos acelerômetros.

Uma placa analógico-digital-analógico (ADA) com 6 canais A/D e 16 bits de resolução foi utilizada. A frequência de amostragem da placa é de 153 kHz. Através de um computador, fez-se a aquisição e tratamento desse sinal por Transformada Discreta de Fourier.

A caracterização do sinal foi feita de forma a se isolar uma “assinatura” do vazamento através da identificação de um determinado padrão dentro da faixa de frequências detectadas. Como abordagem para a análise dos sinais foi utilizada a Análise Espectral de Frequência. A transformada de Fourier gera uma resposta em frequência (espectro) que mostra as frequências em que a energia vibratória se concentra.

Foram analisados sinais de vibração obtidos sob diferentes condições operacionais, inclusive na ausência de vazamento. O quadro abaixo detalha as condições de operação dos experimentos.

Quadro 1 – Condições de Operação

Experimento	Pressão interna (kgf/cm²)	Característica
1	6	Vazamento (orifício 4 mm) Utilizando fechadura eletromagnética
2	6	Vazamento (orifício 4 mm) Fechamento com parafina
3	ambiente	Golpe no casco com instrumento metálico

Resultados e Discussão

A Figura 3, abaixo, mostra o sinal do vazamento utilizando a fechadura eletromagnética para a liberação do vazamento. Assim que iniciou o vazamento, observou-se um pico no sinal seguido por outro pico de maior amplitude. O lapso de tempo entre esses dois picos corresponde à inércia da massa da fechadura e corresponde a aproximadamente 0,08 segundos. A partir do início do vazamento propriamente dito, a amplitude do sinal declina rapidamente, estabilizando-se em seguida segundo uma relativamente lenta despressurização do duto. O experimento foi repetido várias vezes e o mesmo comportamento foi observado.

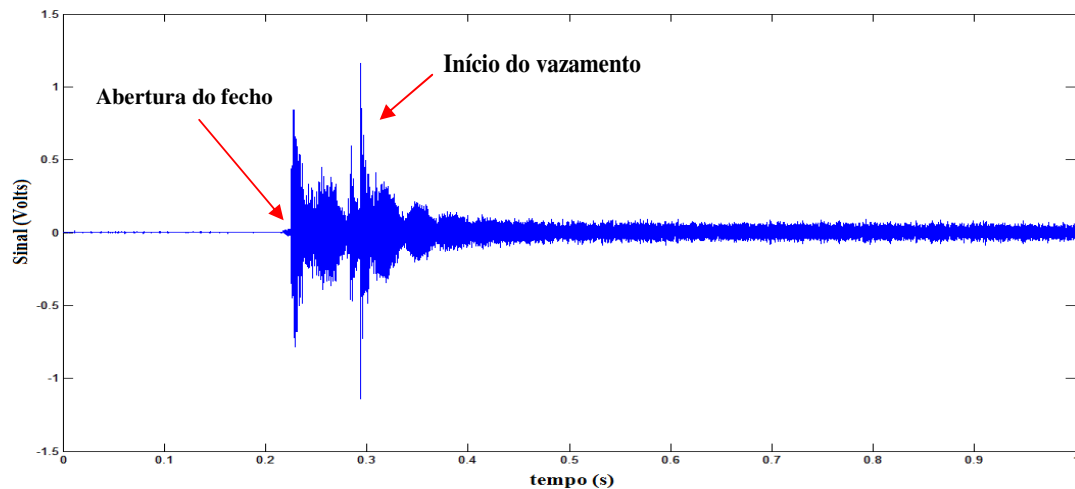


Figura 3 – Sinal (Volts) *versus* tempo (s) para o vazamento acionado por fechadura eletromagnética.

Através do tratamento do sinal mediante a Transformada Discreta de Fourier, obteve-se o espectrograma de frequência do mesmo, conforme é mostrado na Figura 4, abaixo. Nas várias repetições do experimento, dois picos característicos foram observados em 64,6 e 74,9 kHz.

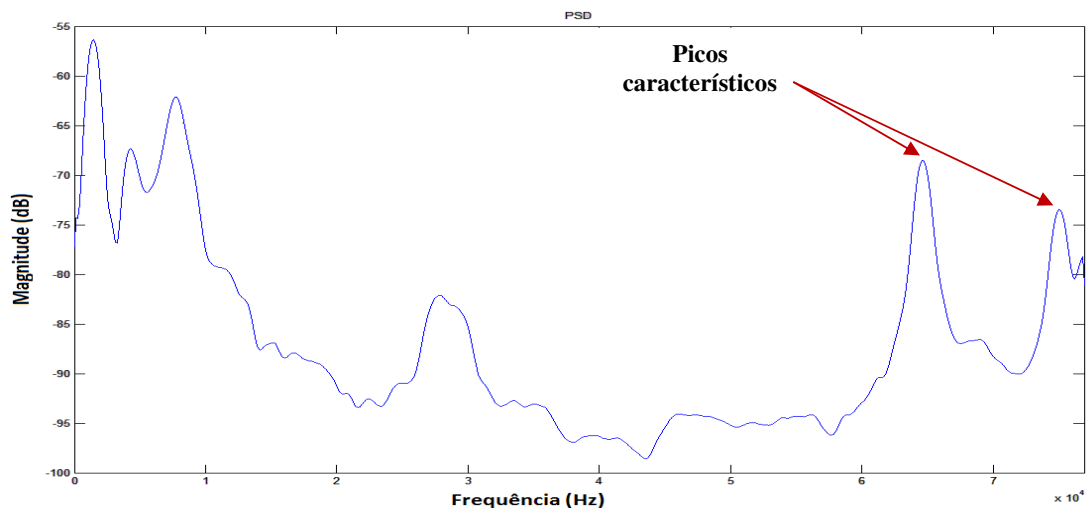


Figura 4 – Espectrograma de Frequência do sinal de vazamento acionado por fechadura eletromagnética.

Para estudar a influência da utilização da fechadura eletromagnética no fenômeno em estudo, realizou-se um experimento em que o orifício do vazamento foi selado com parafina. O duto foi pressurizado até 6 kgf/cm^2 e o sinal do vazamento foi registrado. A Figura 5 mostra o sinal do vazamento utilizando a parafina para vedação.

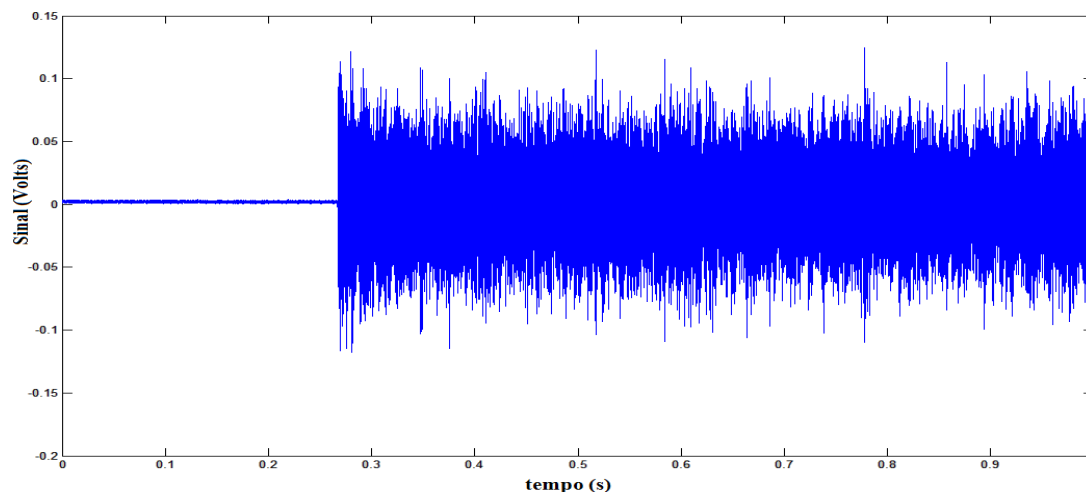


Figura 5 – Sinal (Volts) versus tempo (s) para vazamento com parafina de vedação.

Tratando-se o sinal obtido sem a presença da fechadura eletromagnética, produziu-se o espectrograma de frequência do mesmo conforme é mostrado na Figura 6, abaixo. Novamente, dois picos característicos foram observados quase que na mesma posição do caso anterior, agora em 64,7 e 75,4 kHz. Embora ainda incipiente, a ocorrência desses picos no espectrograma de frequências leva a especulação de que poderiam caracterizar a despressurização do duto tanto no primeiro como no segundo experimento.

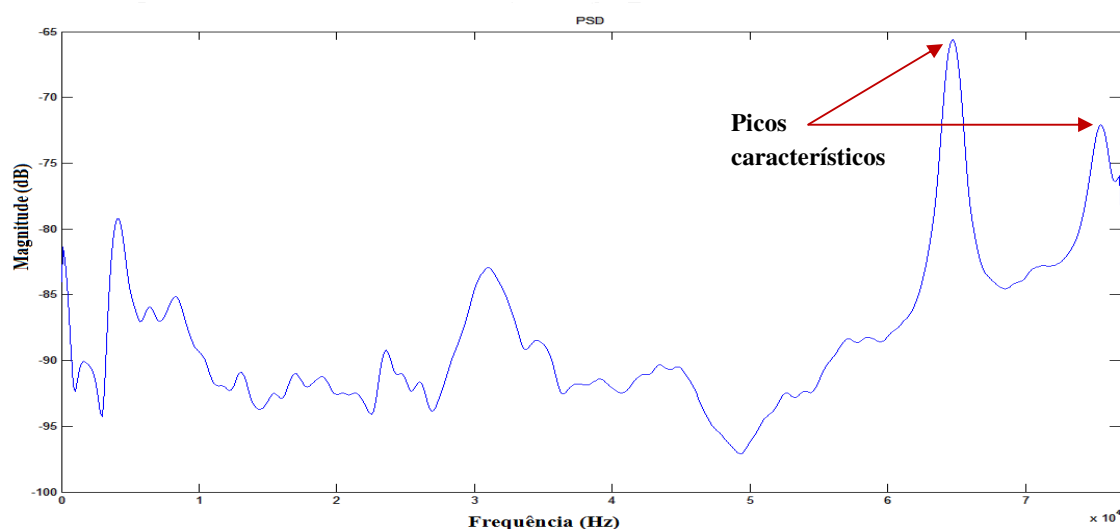


Figura 6 – Espectrograma de Frequência do sinal de vazamento com parafina de vedação.

Certamente, outros eventos geradores de vibrações podem ocorrer nas operações de dutos de petróleo e gás, como: fechamento e abertura de válvulas, escoamento dos fluídos ou até mesmo golpes externos

desferidos contra os cascos. Para se investigar os espectrogramas de ao menos um desses fenômenos, foram conduzidos experimentos em que se desferiu um golpe sobre a parede externa da seção de duto por meio de um instrumento metálico. A Figura 7, abaixo, mostra o sinal produzido pelo golpe.

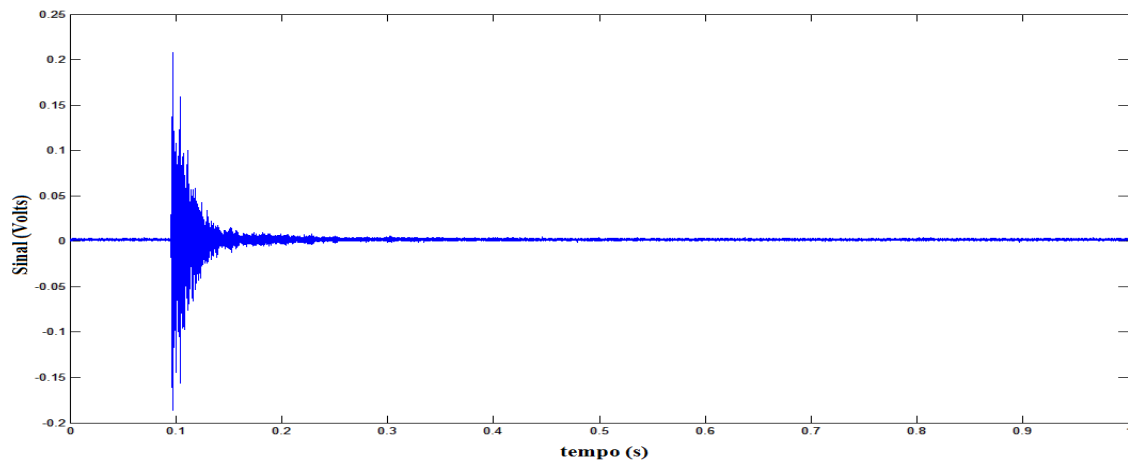


Figura 7 – Sinal (Volts) versus tempo (s) produzido pelo golpe na parede do duto.

O espectrograma do sinal produzido pelo golpe com instrumento metálico sobre a parede do duto é mostrado na Figura 8. Observa-se que, para esse caso, os picos característicos observados nos vazamentos não aparecem, o que no mínimo permite distinguir entre a ocorrência de vazamento com depressurização ou simples golpe na estrutura do duto.

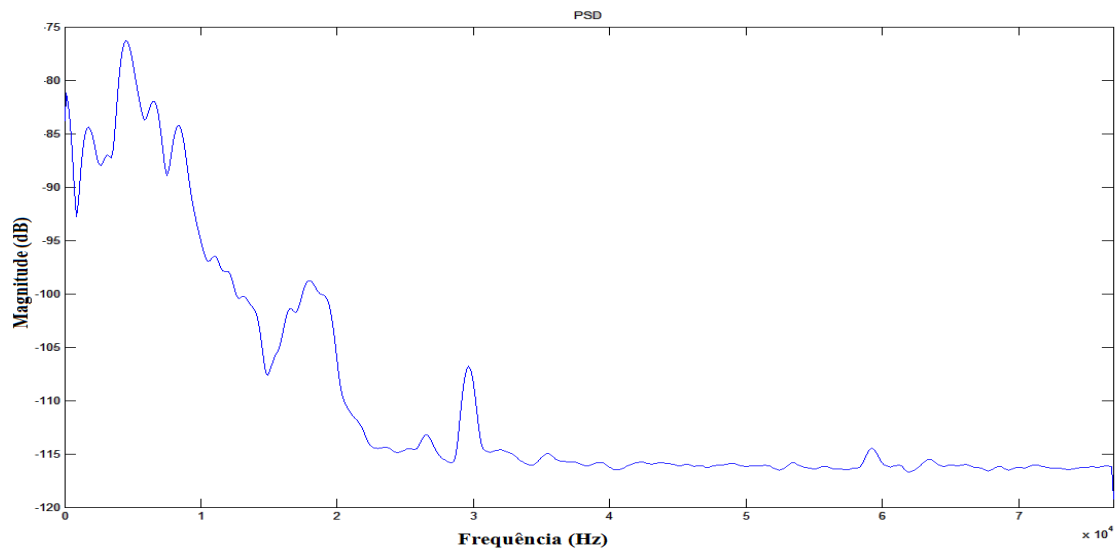


Figura 8 – Espectro do sinal de golpe no duto, mas sem vazamento.

Conclusões

O presente trabalho abordou o problema da caracterização do sinal vibroacústico gerado por um jato de fluido (ar) a partir de um orifício de 4 mm de diâmetro subitamente aberto, localizado na parede de um segmento de duto de 2 m pressurizado. Constatou-se que para os ensaios de vazamento, tanto utilizando fechadura eletromagnética quanto parafina para selar o orifício, picos característicos da

despressurização foram observados no espectro de frequência obtido por Transformada Discreta de Fourier aplicada no sinal gerado. Tais picos não foram observados nos experimentos que consistiram em desferir golpes com instrumento metálico contra a parede do duto. Esses resultados iniciais indicam que é possível distinguir, através do espectro de frequência do sinal, um evento de vazamento de um evento de choque mecânico sobre a estrutura. Assim, o método aqui denominado vibroacústico se mostra promissor para a detecção de vazamentos em dutos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, e da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás PRH-34 ANP/MCT.

Referências Bibliográficas

MACIAS, I. B. “Detecção de Vazamento em Tubulações Transportando Gás”. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2004.

SHEHADEH, M., STEEL, J.A., REUBEN, R.L. *Acoustic emission source location for steel pipe and pipeline applications: the role of arrival time estimation*. J. Process Mechanical Engineering, v. 220 (E), p. 121-133, 2006.

SOUZA, E.O. “Detecção de Vazamento em Tubulações através do Método Acústico e da Análise de Transiente de Pressão”. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

WIECZOREK, S. “*Leakage and Blockage Detection in Two-Phase Subsea Pipelines by Pressure Pulse Technology*”. Norwegian University of Science and Technology, 2003.

ZHANG, J. *Statistical pipeline leak detection for all operating conditions*. Pipeline & Gas Journal, Fev 2001.