

## **PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE VARREDURA PARA INSPEÇÃO ULTRASSÔNICA EM DUTOS**

Marcelo Cavalcanti Rodrigues<sup>1</sup>, [celocr@ct.ufpb.br](mailto:celocr@ct.ufpb.br), [celo\\_cr@yahoo.com.br](mailto:celo_cr@yahoo.com.br)

José Carlos de Lima Junior<sup>1</sup>, [limajr@ct.ufpb.br](mailto:limajr@ct.ufpb.br)

Koje Daniel Vasconcelos Mishina<sup>1</sup>, [koje\\_mishina@yahoo.com.br](mailto:koje_mishina@yahoo.com.br)

Jayann Ismar Lira Almeida<sup>1</sup>, [javann.ismar@gmail.com](mailto:javann.ismar@gmail.com)

Rômulo do Nascimento Rodrigues<sup>1</sup>, [eng.romulorodrigues@gmail.com](mailto:eng.romulorodrigues@gmail.com)

Fábio de Andrade Barroso<sup>1</sup>, [fabio1234@ct.ufpb.br](mailto:fabio1234@ct.ufpb.br)

<sup>1</sup>Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus I, João Pessoa, PB.

**Resumo:** Apresenta-se neste artigo o projeto e desenvolvimento de um sistema automático de varredura para inspeção ultrassônica para dutos. O objetivo é garantir uma portabilidade em áreas de difícil acesso, melhor detectabilidade, precisão nos laudos, velocidade de análise, fácil manuseio, e maior flexibilidade para diferentes configurações de diâmetro e espessura. A partir da geometria do duto, o sistema é capaz de realizar os movimentos circunferenciais e longitudinais com o objetivo de varrer toda a superfície do duto a ser inspecionada. O sistema é composto de dois motores de corrente contínua e um controle lógico programável além de uma interface gráfica para mostrar a espessura do duto. O projeto é baseado em uma engrenagem externa que gira e suporta os transdutores, movida por um pino. Outro motor gera o movimento longitudinal do sistema garantindo que toda a superfície do duto seja inspecionada. Neste trabalho serão apresentadas todas as etapas do projeto que vai desde a concepção até a construção do sistema automático de varredura.

**Palavras-chave:** Dutos, ultra-som, varredura, inspeção, engrenagens.

### **1. INTRODUÇÃO**

Os mecanismos de danos em equipamentos da indústria química e petroquímica são de forma bastante diversificada, em função das próprias condições operacionais e ambientais de trabalho em que os mesmos estão expostos. Para se ter um eficiente controle dos mesmos, é indispensável o conhecimento do princípio, a forma de propagação do dano e os métodos de prevenção.

Para equipamentos em operação, não existem regras tão definidas como no caso de equipamentos novos. A responsabilidade pela definição de critérios e propriedades de material a serem empregadas em uma avaliação de integridade é suportada por publicações oficiais e reconhecidas, mas que não estabelecem todas as regras e exigências para realização do trabalho (Rodrigues, 2007).

Torna-se necessário, em muitos casos, conviver com o dano, identificar sua extensão e acompanhar sua progressão. Não existem padrões para reparo e sim critérios que permitem avaliar o dano e sua influência no risco operacional do equipamento. A atividade de avaliação de integridade exige mais engenharia x menor intervenção (Rodrigues, 2007).

O desenvolvimento de sistemas para monitorar a integridade estrutural de sistemas em serviço em tempo real e as técnicas de detecção de falhas por ultra-som tem atraído pesquisadores e industriais em todo o mundo. O objetivo é permitir maior facilidade no acesso a inspeções não – destrutivas em dutos e reduzir custos minimizando a manutenção e os ciclos de inspeção.

A caracterização de danos, para melhor entendimento, pode ser classificada por níveis. Doebeling et al. (Doebeling et al., 1998) usam quatro níveis de classificação: Nível 1 – Detecção/Identificação: Detecta a existência da falha; Nível 2 – Localização: Detecta e localiza a falha; Nível 3 – Avaliação: Detecta, localiza e quantifica a falha; Nível 4 – Consequência/Previsão: Detecta, localiza e quantifica a falha e, então, estima a vida útil residual do equipamento;

Inman (Inman, 2001) adiciona mais três níveis. Todos incorporando a utilização de materiais inteligentes: Nível 5 – Combina o nível 4 com estruturas inteligentes para auto-diagnóstico de falhas estruturais; Nível 6 – Combina o nível 4 com estruturas inteligentes e controle para formar um sistema de auto-reparo estrutural; Nível 7 – Combina o nível 1 com controle ativo e estruturas inteligentes para obtenção de um sistema simultâneo de controle e monitoramento.

Portanto, este artigo apresenta as etapas de projeto e desenvolvimento de um dispositivo automático de varredura capaz de movimentar sobre uma superfície metálica cilíndrica, controlado por Controle Lógico Programável. Os

movimentos circunferenciais e longitudinais realizados pelo dispositivo aumentam a flexibilidade do sistema permitindo se movimentar para qualquer direção ao longo do duto. O sistema comporta a acoplagem de um ou mais transdutores ultra-sônicos para realizar os ensaios não-destrutivos. Os sinais obtidos pelos transdutores são enviados a um programa (interface gráfica) para detecção dos picos de amplitude, resultando em valores de espessura de parede do duto. A estrutura do protótipo foi construída com material de nylon, motores de corrente contínua, uma fonte de 24 V, um CLP para controle dos movimentos.

## 2. ENSAIO ULTRA-SÔNICO

O princípio ultra-sônico é baseado no conceito da boa condutividade sonora dos materiais sólidos. A análise por ultra-som é um método não destrutivo de ensaio em que um feixe sônico de alta frequência é introduzido no material com o intuito de detectar falhas internas. O feixe que percorre o material é refletido por interfaces de defeitos internos e é detectado e analisado para determinar a existência e a localização de discontinuidades. As ondas ultra-sônicas refletidas pelas interfaces dependem do estado físico da matéria e das propriedades específicas do meio. O efeito de interação da onda sonora com a matéria é maior quanto menor for o comprimento de onda, isto significa dizer que, as maiores interações ocorrem nas maiores frequências da onda, como mostra a Eq. (1). Daí a necessidade da completa descrição das propriedades intrínsecas dos materiais neste tipo de ensaio.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

Onde,  $v$  é a velocidade das ondas sonoras no meio em  $[km/s]$ ;  $f$  é a frequência em  $[MHz]$  e  $\lambda$  é o comprimento de onda em  $[mm]$ .

Um ensaio por ultra-som segue determinados passos para encontrar o diagnóstico de um determinado material. Para possível detecção de defeitos internos em materiais, a classificação de procedimentos se torna a seguinte: Detecção de regiões refletoras; Localização de regiões refletoras; Avaliação das regiões refletoras; Diagnóstico das regiões refletoras (tipo de reflexão, orientação, dimensionamento, etc).

A designação “*região refletora*”, geralmente é substituída por um operador de ultra-som, pelo termo “*descontinuidade*”. Esta denominação é definida como sendo uma “irregularidade do objeto em teste a qual supõe-se ser uma falha” (Farias, 2002). Na realidade, somente após a localização, avaliação e o diagnóstico ter sido realizado, é que se pode determinar a existência ou não de uma falha.

Trincas, poros, falta de fusão e outras discontinuidades podem ser detectadas por ultra-som, pois geram uma interface sólido-gás de fácil detecção. Inclusões, falta de penetração e outras discontinuidades podem ser também detectadas por reflexão parcial ou espalhamento do feixe sônico, ou até mesmo pela produção de outros efeitos detectáveis (Silva, 1999).

## 3. CONCEPÇÃO DO SISTEMA AUTOMÁTICO DE VARREDURA

Com o objetivo de desenvolver um sistema automatizado que possa evitar riscos de radiação ionizantes, obter melhor detectabilidade e confiabilidade da inspeção, eliminar da subjetividade do ultra-som manual, melhorar o dimensionamento dos defeitos, melhorar o controle dos processos de soldagem, obter índices de rejeição reduzidos, aumentar a produtividade e não interferir nas demais atividades de montagem e manutenção no duto além de reduzir custos.

A partir da idéia de construção de um sistema automático de baixo custo, que comporta mais de um transdutor, e de fácil manuseio, e que no futuro possa ser flexível para vários diâmetros, concebida um modelo que originou na construção do protótipo. Na Figura 1 apresenta-se o projeto do sistema automático da varredura.

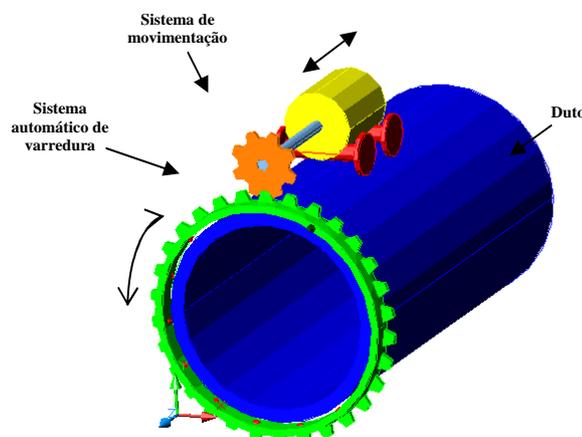


Figura 1. Projeto do sistema automático de varredura em dutos

### 3.1 Construção do Protótipo

O protótipo foi desenvolvido a partir de movimentos de engrenagens externas movida por um pinhão que realiza o movimento circunferencial no sentido horário ou anti-horário. O pinhão tem movimentos longitudinais gerado por um motor.

Na parte superior da engrenagem externa, existe o local (case) de acoplamento dos transdutores ultra-sônicos, podendo aumentar a área de varredura da superfície do duto. Na parte inferior da engrenagem externa, foram construídos orifícios para alojar as esferas e as molas, onde a distância entre os transdutores e a superfície do duto é variada por um fuso.

Os desenhos do sistema foram desenvolvidos através dos softwares NX 5.0 (Siemens) e Solidworks. As dimensões foram medidas com um paquímetro de resolução 0,05mm. Nas figuras abaixo estão apresentadas os desenhos de cada componente do sistema automatizado.

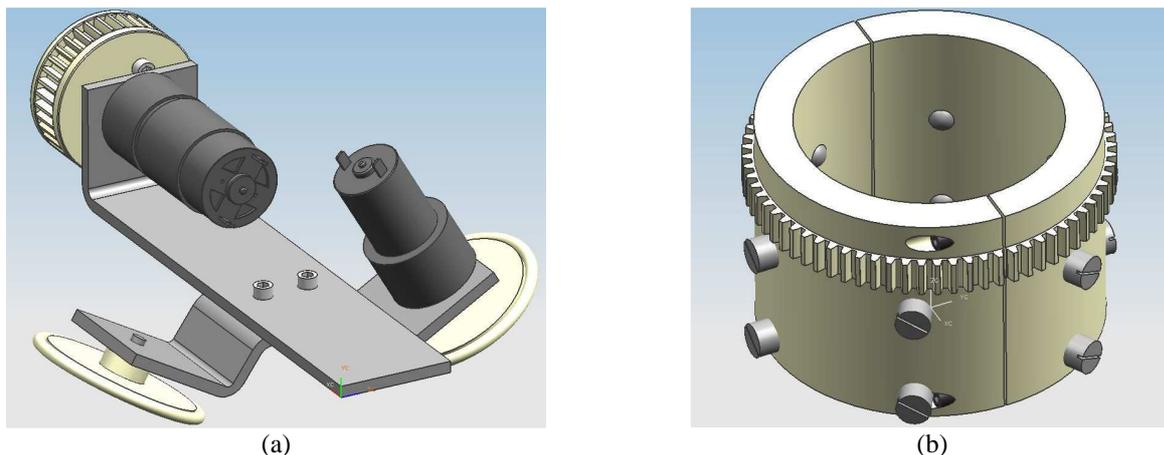


Figura 2. (a) Plataforma com o pinhão e motor; (b) Engrenagem externa com os transdutores.

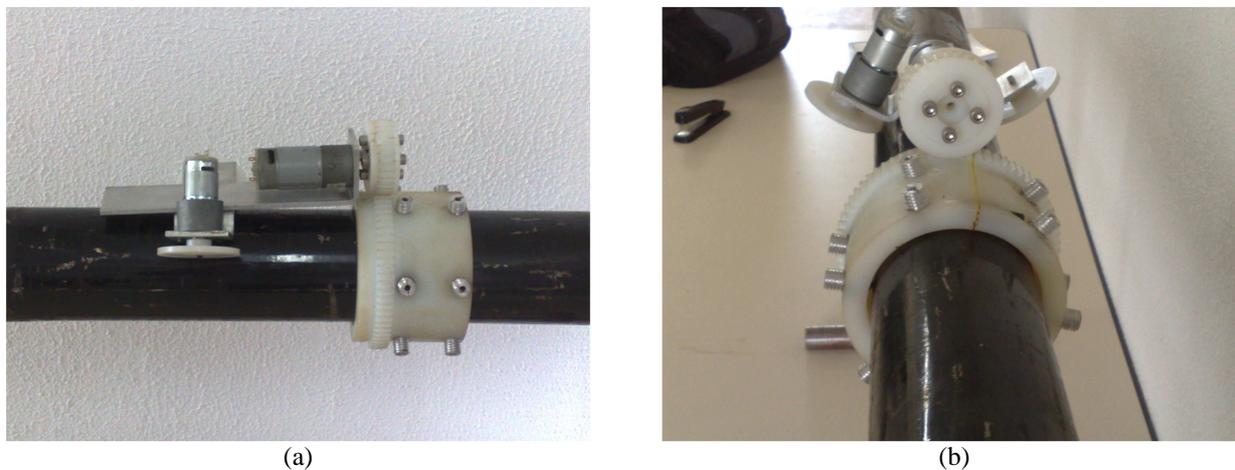


Figura 3. (a) Vista lateral do protótipo; (b) Vista frontal do protótipo.

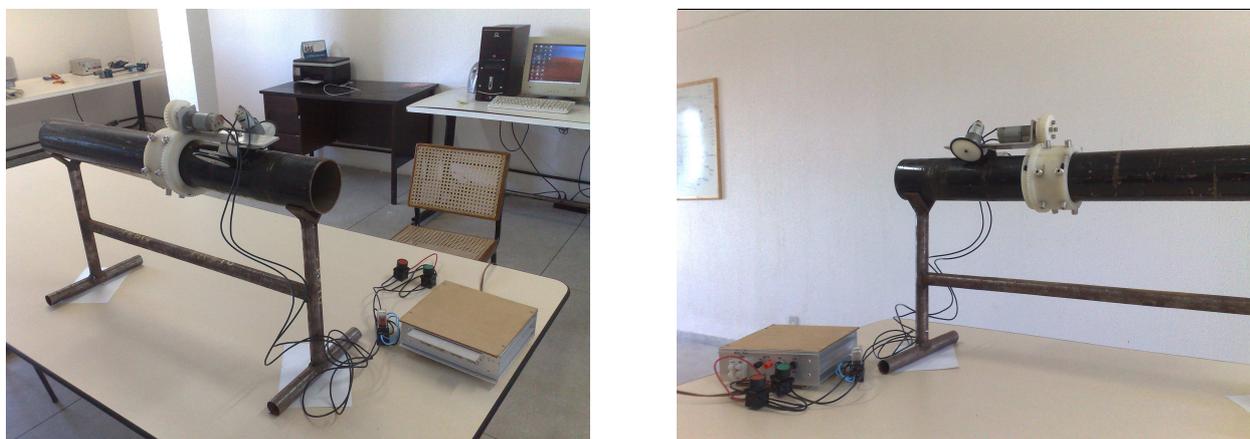


Figura 4. Protótipo do sistema automático de varredura

### 3.2 Funcionamento do Sistema Automático de Varredura

O sistema de inspeção pode ser resumido em:

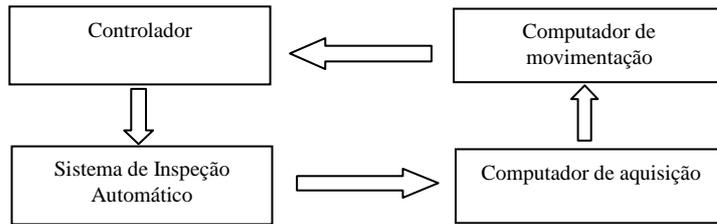


Figura 5. Diagrama de blocos do sistema de inspeção

- Sistema de inspeção automático:** sistema mecânico, acionado por motores elétricos, capaz de realizar a varredura em torno do duto e ao longo do duto;
- Computador de aquisição:** manipula os dados obtidos pelo ultra-som, assim como calcula a perda de espessura;
- Controlador:** realiza a comunicação entre o computador de movimentação e o sistema de inspeção automático;
- Computador de movimentação:** a partir dos dados obtidos pelo ultra-som, o sistema realiza a movimentação ao longo do duto e depois em torno do duto.

### 3.3 Controle de movimentação do Sistema Automático de Varredura

O sistema será controlado por um CLP (Controlador Lógico Programável), pois apresenta as seguintes características de controle de fácil e rápida programação ou reprogramação, com a mínima interrupção da produção; capacidade de operação em ambiente industrial; sinalizadores de estado e módulos do tipo plug-in de fácil manutenção e substituição; hardware ocupando espaço reduzido e apresentando baixo consumo de energia; possibilidade de monitoração do estado e operação do processo ou sistema, através da comunicação com computadores constituindo sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados.

Além disso, o CLP possui algumas vantagens comparadas a outros dispositivos de controle industrial, que incluem: menor ocupação de espaço; potência elétrica requerida menor; reutilizável; reprogramável, se ocorrerem mudanças de requisitos de controle; confiabilidade maior.

O nosso sistema automatizado tem como base a programação em blocos e em ladder, e testes estão sendo realizados pelos softwares Festo FluidSim (blocos) e o Click02 Edit (ladder). O controlador realiza todo o processo de varredura do duto, onde a programação inicia no local desejado de inspeção realizando a varredura circunferencial e depois ao longo do duto. Na Figura 6 apresenta-se a configuração da lógica de programação do sistema automático de varredura.

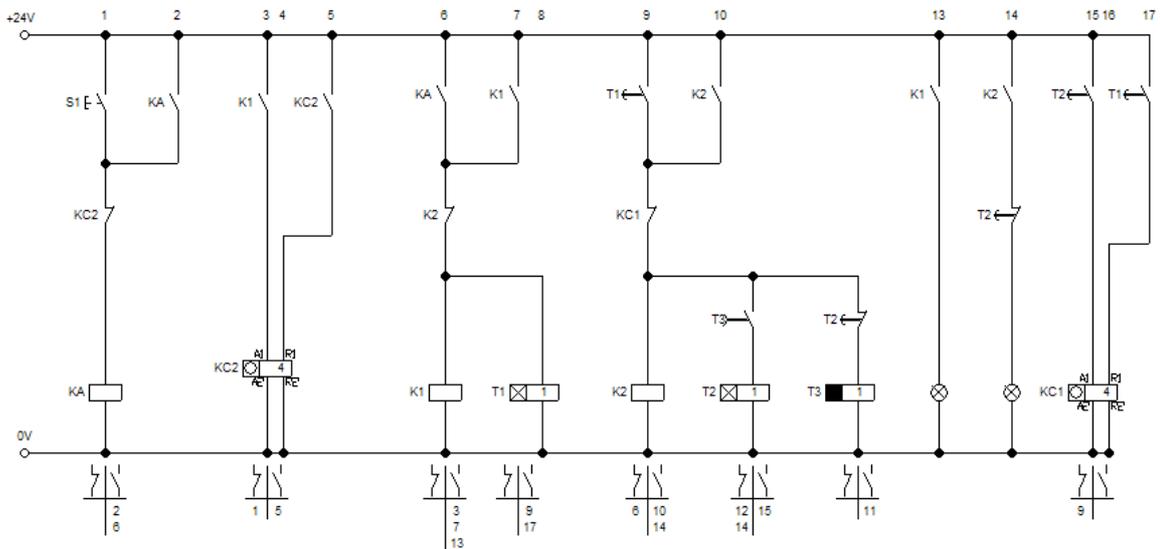


Figura 6. Configuração lógica do controlador CLP.

De acordo com a configuração acima, o controle realiza os movimentos de varredura circunferencial e longitudinal do sistema automático de varredura. Enquanto o sistema faz a varredura circunferencial, os transdutores emitem os sinais de ultra-som para a realização da inspeção. Ao fim do curso circunferencial, o controle realiza o avanço longitudinal, e novamente o sistema realiza a varredura circunferencial. À medida que o ultra-som realiza a varredura, os sinais são captados pelo programa de interface que calcula todos os parâmetros requeridos para a perda de espessura ou detecção de falha.

### 3.4 Construção da Interface Gráfica do Sistema Automático de Varredura

A partir do algoritmo desenvolvido para o cálculo da perda de espessura, onde utiliza-se a detecção de picos do sinal de ultra-som para medir o tempo de chegada do sinal ultrassônico. Na Figura 7 apresenta-se a configuração da interface e os resultados de amplitude em função do tempo com a espessura do material inspecionado.

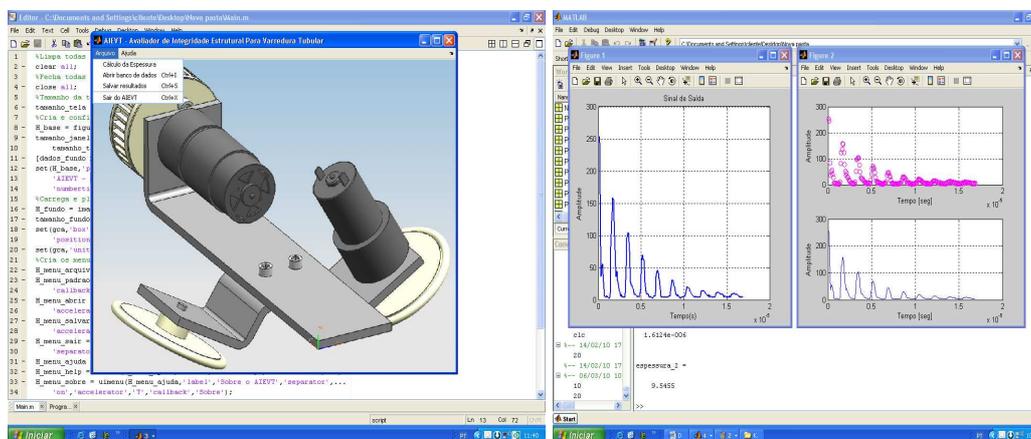


Figura 7. Interface e resultados em amplitude em função do tempo.

A interface apresenta gráficos de amplitude em função do tempo além do valor da espessura da do material inspecionado (duto), onde o usuário deve entrar com os dados do material a ser inspecionado, como a velocidade de propagação de onda, espessura original do material, etc.

## 4. CONCLUSÃO

Robôs industriais tornaram-se cada vez mais atraentes, aumentando a eficiência da produção. Mas, para aplicações industriais em áreas como a inspeção em dutos, os robôs convencionais são incapazes de operar de forma eficaz suficiente para justificar o alto custo de implementação. Por isso, é necessário criar novos sistemas que possam preencher a lacuna nas aplicações convencionais, onde os robôs não são eficazes.

O desenvolvimento do sistema automático de varredura por inspeção de ultra-som em dutos traz grandes vantagens em comparação com o processo manual. Há um melhor controle no posicionamento e desvios menores nas amostras devido à variação do movimento. Também é importante notar a versatilidade no controle do sistema, usando um joystick sem a necessidade de monitor, diminuindo as chances de falha humana durante a inspeção. Ganhos expressivos de produtividade, qualidade e baixo custo podem ser esperados. Uma das grandes vantagens deste sistema é o custo, sendo muito mais simples de construir e custa apenas uma fração do seu concorrentes internacionais.

## 5. REFERÊNCIAS

- Abend, 2005, Site da Associação Brasileira de Ensaio Não-Destrutivos, 2005.
- Andreucci, R., 2008, Ensaio por ultra-som – Aplicação Industrial, Abende.
- API Recommended Practice 579, 2000, Fitness for service, API Publishing Service (American Petroleum Institute), first edition, Washington D.C., Jan.
- API Recommended Practice 571, 2003, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry, First Edition, American Petroleum Institute, Dec.
- Doebling, S. W., Farrar, C. R. and Prime, M. B., 1998, A Summary Review of Vibration-Based Damage Identification Methods, The Shock and Vibration Digest Journal, 30:91-105.
- Inman, D. J., 2001, Smart Structures Solutions to Vibration Problems, Proceeding International Conference on Noise and Vibration Engineering. Leuven, Belgium 1-12.
- Farias, C.T.T.; Silva, I.C.; Carvalho A. A.; Cunha, J.P.G., Rebello, J.M.A. 2002, Detecção de Pites de Corrosão Pela Técnica de Ultra-Som Focalizado 3ª Conferência Internacional sobre Tecnologia de Equipamentos, Salvador.
- Rodrigues, M. C., 2007, Análise da Integridade Estrutural em Hastes de Bombeio Por Cavidades Progressivas. Tese de Doutorado, UFPB/PPGEM.
- Rodrigues, M. C., Cavalcanti, J. H. F., 2008, “Simulação e análise dinâmica de uma coluna de hastes de bombeio BCP usando analogia com movimentos de pêndulos múltiplos”, CONEM2008.
- Silva, I. C., 1999, “Avaliação da Técnica do Tempo de Percurso da Onda Difrata no Dimensionamento de Descontinuidades”; Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

### **CON10-0748**

## **DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SYSTEM SCANNING ULTRASONIC INSPECTION FOR PIPELINES**

***Abstract.** This article shows the design and development of a system scanning for ultrasonic inspection for pipelines. The goal is to ensure portability in areas of difficult access, improved detectability, accuracy in reports, scan speed, easy handling, and greater flexibility for different configurations of diameter and thickness. From the geometry of the pipeline, the system is able to perform the circumferential and longitudinal movements in order to sweep the entire surface of the duct to be inspected. The system consists of two DC motors and a programmable logic control (PLC) and a graphical interface to show the thickness of the duct. The project is based on an external gear that rotates and supports the transducers, driven by a pinion. Another engine generates the longitudinal movement of the system ensuring that the entire surface of the product is inspected. This work will be presented every stage of the project ranging from design to construction of automatic scanning.*

***Keywords:** Pipeline, scanning, inspections.*