

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

## **Perfilometria Óptica de Dutos Sujeitos à Corrosão - Princípios e Recentes Progressos**

Pedro de D. Buschinelli<sup>a</sup>, Maryah E. Haertel<sup>b</sup>, João R. C. Melo<sup>c</sup>, Armando Albertazzi<sup>d</sup>, João M. C. dos Santos<sup>e</sup>, Cláudio S. Camerini<sup>f</sup>

### **Abstract**

The paper describes two optical systems to measure geometry of pipelines exposed to corrosive environment. The first was designed to measure internal surfaces of 150 mm (6") diameter pipes. It is able to acquire almost one million data points for each meter of length. It uses a particular laser triangulation configuration with a conical mirror to produce a radial light sheet that reaches the inner surface of the tube to be measured. It forms a light ring which is obliquely viewed by a camera. When processed, the image of the light ring reveals the geometry of the section all way around 360°. The system is displaced along the tube axis and the geometry of each section is acquired 1.0 mm away from each other, producing a dense 3D cloud of points in cylindrical coordinates. The system was originally designed to inspect the internal corrosion furnace tubes of oil processing plants. The latter system was designed to measure external geometry of corroded pipes and assesses loss of material. The optical setup combines a special fringe projector and two cameras. The images of a sequence of fringes are acquired by two cameras and used to perform a high precision correlation. This process results in a dense cloud of points in cylindrical coordinates that describe the geometry.

**Keywords:** corrosion measurement, profilometry, optical measurement, laser triangulation, photogrammetry, cloud of points.

### **Resumo**

O trabalho descreve dois sistemas ópticos para medir, com grande riqueza de detalhes, a geometria de superfícies de dutos expostas ao meio corrosivo. O primeiro mede a superfície interna de tubos de 150 mm de diâmetro (6"), extraindo quase um milhão de pontos por cada metro de comprimento. Usa configuração especial de triangulação laser com espelho cônico que forma um plano de luz que se propaga radialmente e incide na parede interna do tubo a ser medido, formando um anel de luz que é obliquamente visto por uma câmera. Ao ser processada, a imagem do anel de luz revela a geometria da seção ao longo de 360°. Ao ser deslocado ao longo do tubo, o sistema mapeia a geometria de uma seção a cada 1,0 mm, permitindo medir a superfície interna com grandes detalhes. O sistema foi inicialmente desenhado para inspecionar a corrosão interna de tubos de fornos de refinarias. O segundo foi concebido para medir a geometria externa de trechos corroídos de tubos e avaliar a perda de

<sup>a</sup>Eng. Eletr, Mestre, Pesquisador – Universidade Federal de Santa Catarina, Depto. Eng. Mecânica.

<sup>b</sup>Bel. Física, Mestre, Doutoranda – Universidade Federal de Santa Catarina, Depto. Eng. Mecânica.

<sup>c</sup>Eng. Ctrl, Autom., Mestrando – Universidade Federal de Santa Catarina, Depto. Eng. Mecânica.

<sup>d</sup>Professor Dr. Eng. Mec. – Universidade Federal de Santa Catarina, Depto. Eng. Mecânica.

<sup>e</sup>Eng. de Equipamentos, Mestre. – PETROBRAS/CENPES.

<sup>f</sup>Eng. Sênior. – PETROBRAS/CENPES.

material. É realizada combinando um projetor de franjas especial e duas câmeras. As imagens de uma sequência de franjas são captadas pelas duas câmeras e usadas para correlacionar com grande precisão a correspondência entre os pontos medidos. Deste processo resulta uma densa nuvem de pontos em coordenadas cilíndricas que descrevem a geometria medida.

**Palavras-chave:** medição da corrosão, perfilometria, medição óptica, triangulação laser, fotogrametria, nuvem de pontos.

## Introdução

O sensor óptico para inspeção interna descrito nesse trabalho tem como foco a inspeção de tubos usados em fornos de refinarias. Esses fornos geralmente são formados por secções retas de tubo de (40 a 50) metros, e com diâmetro interno de (150 a 250) mm (6" a 10"). Conforme ilustra a imagem da esquerda na figura 1, essas secções são dispostas paralelamente, separadas por uma determinada distância e conectadas por secções em "u" formando um percurso em serpentina. O óleo a ser refinado passa no interior dos tubos que são aquecidos por chamas dispostas na parte inferior do forno. Por ser um ambiente muito hostil, a corrosão interna costuma ser severa e precisa ser acompanhada.

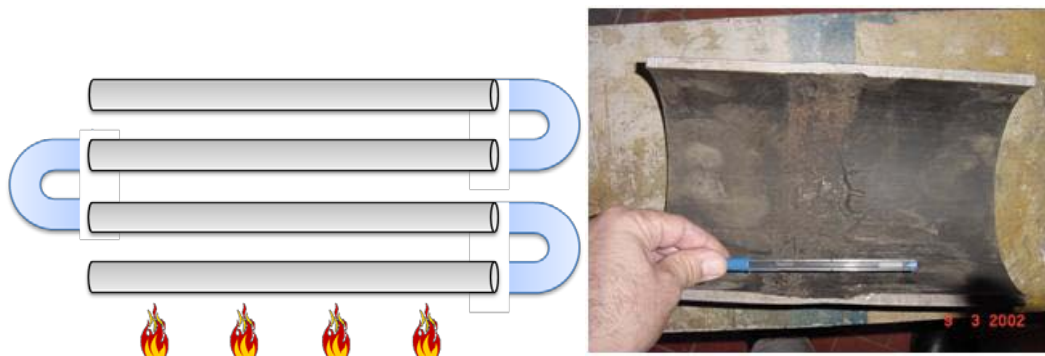


Figura 1 – Esquemático simplificado de um forno de refinaria (esquerda) e uma secção de tubo de 150 mm com defeito por corrosão (direita).

Existem situações onde é necessário realizar a inspeção com elevada riqueza de detalhes. Nesse caso, os *pigs* de inspeção não são adequados por não atingirem a resolução necessária. Nesse contexto, a inspeção óptica se torna uma ferramenta atrativa.

O protótipo concebido nesse trabalho é destinado à inspeção dos tubos com 152 mm (6") de diâmetro e é conectado a um computador externo por cabos de alimentação e transmissão de dados (cabo umbilical). A inspeção ocorre durante uma parada do forno, onde as conexões em "U" são retiradas, deixando as secções de tubo abertas em pelo menos um dos lados. Os tubos são então limpos com solventes, água e vapor, o que gera um ambiente adequado o suficiente para a realização da inspeção óptica.

Na parede externa de dutos em operação, não é raro detectar perda de massa por corrosão. Para decidir se a integridade do trecho está comprometida é conveniente medir a geometria da região afetada. Para esse fim, este trabalho também descreve e apresenta resultados da validação de um protótipo de um segundo sistema óptico portátil capaz de medir a geometria externa de dutos com diâmetros a partir de 250 mm ou maiores. A medição e sua

---

---

representação gráfica, em si, serão úteis para a inspeção em campo e para subsidiar análises mais aprofundadas. O princípio óptico utilizado é a fotogrametria ativa. Características operacionais e metrológicas são otimizadas para a medição de corrosão de dutos em campo. Os dois sistemas serão descritos separadamente nos tópicos seguintes.

### **Perfilômetro Interno (PEROLA-I)**

#### *Caracterização*

O perfilômetro óptico desenvolvido no escopo do projeto PEROLA é capaz de medir secções em intervalos igualmente espaçados e indexados longitudinalmente e angularmente. A descrição de seu funcionamento é feita a seguir.

#### *Concepção Óptica*

Já existem soluções ópticas para a inspeção interna de dutos. Sistemas com câmeras de circuito fechado acopladas em veículos controlados remotamente são utilizados há bastante tempo na inspeção visual de dutos, tanto na indústria do petróleo, como na de distribuição de água, esgoto, etc. Grandes defeitos podem ser detectados, no entanto esse tipo de inspeção não é adequado quando se deseja uma medição detalhada e quantitativa do interior do duto.

Sistemas de triangulação laser são uma solução mais adequada para esse tipo de inspeção. Uma empresa Norueguesa desenvolveu um *pig* para a inspeção de gasodutos que possui oito sensores de triangulação laser ao seu redor (*Optopig*) (1). Hartrumpf e Munser (2) desenvolveram um dispositivo de inspeção de tubos de esgoto utilizando a projeção de luz estruturada e redes neurais para o reconhecimento automático de defeitos. Recentemente, Ritterand e Frey (3) publicaram um artigo sobre um dispositivo que utiliza quatro linhas de laser combinadas em um sistema rotativo para a medição do perfil interno de tubulações de esgoto e de água. Buschinelli (4) e o grupo do professor Yoshizawa(5)(6)(7) desenvolveram de forma independente um método de medir o interior de tubulações a partir de apenas uma imagem por secção utilizando um sistema de triangulação laser cônica. A principal inovação desse método é o uso de um “plano de luz” formado por um laser e um espelho cônico de 45°, que será discutida com detalhes no próximo tópico.

A concepção óptica do sistema, conforme ilustrada na figura 2, é constituída pelos seguintes componentes: câmera, lente grande angular, espelho cônico e laser diodo. O laser é posicionado por uma estrutura que possibilita ajustar seu alinhamento com o vértice do espelho cônico. Uma vez que o laser está alinhado com o espelho, é formado um “plano de luz” radial, que se propaga ao longo de 360° e de forma perpendicular ao eixo do sistema. A intersecção desse plano com a parede interna do duto forma um anel, que por sua vez é visualizado pelo conjunto câmera-lente.

A relação entre o raio do anel da imagem em pixel com o raio em milímetros pode ser facilmente obtida através de um modelo de câmera *pinhole*. Teoricamente, na ausência de qualquer desalinhamento e aberrações ópticas, essa relação seria restrita a uma constante multiplicativa. Entretanto, em aplicações reais, o comportamento da lente não é linear e desalinhamentos entre os componentes podem ser significativos. A relação entre a geometria da imagem e a geometria do duto é obtida por calibração.

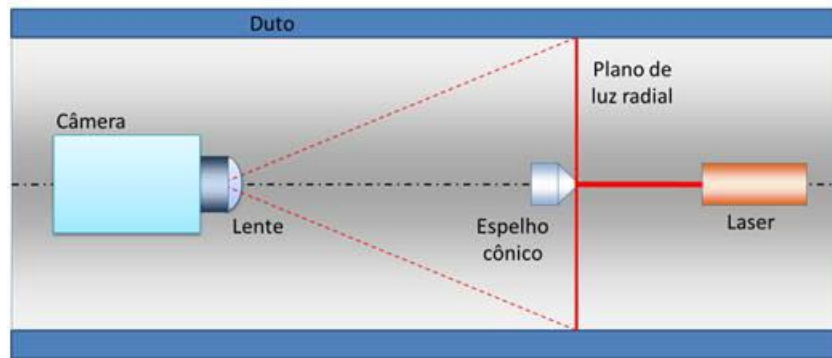


Figura 2 – Esquemático da concepção óptica do sistema.

Na figura 2 pode-se ver o protótipo em bancada de testes realizando a medição de uma chapa cortada com geometria conhecida. Os componentes são mantidos de forma alinhada por um tubo de acrílico transparente. O perfil da geometria interna da peça é iluminado pelo “plano de laser” e o resultado é uma linha clara em contraste com um fundo escuro. De forma a facilitar sua visualização nesse artigo, as cores da imagem foram invertidas (negativo), conforme pode ser visto na imagem da direita da figura 2.

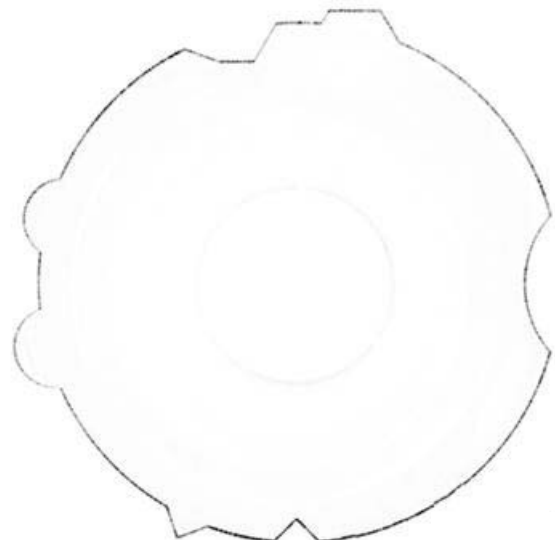
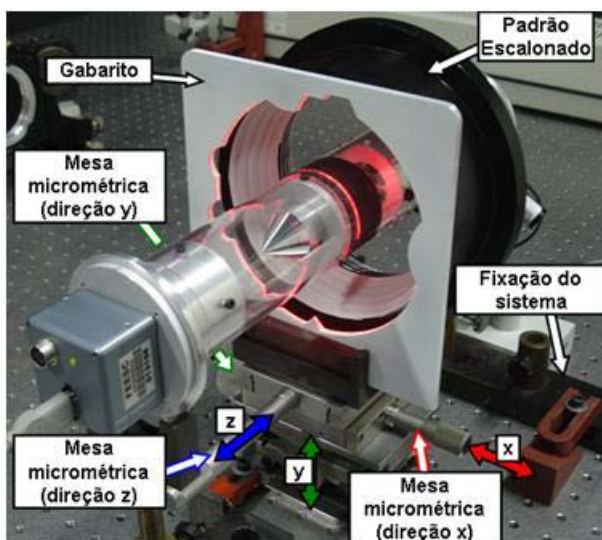


Figura 3 – Protótipo medindo a geometria interna de uma chapa de testes (esquerda). Imagem resultante (direita).

### Processamento da Imagem

A imagem obtida é processada de forma a obter um vetor de raios em função do ângulo  $\theta$  como ilustrado na figura 4. A linha do laser fica muito evidente na imagem, uma vez que o laser é uma fonte de luz muito intensa. Além disso, no interior do duto não existe nenhuma outra fonte de luz, o que garante ainda mais a predominância da iluminação do laser. De forma a reduzir o tempo de processamento, as linhas são varridas apenas na região anelar definida por um raio máximo e mínimo. Esse intervalo deve estar contido dentro da região de calibração, uma vez que pontos obtidos fora dessa região não teriam dimensão real definida. A localização da linha do laser é relacionada com o centro de luminosidade do vetor em análise.

A figura 4 ilustra a medição de 9 linhas (1-9) regularmente espaçadas por uma constante  $\Delta\theta$ , assim como os centros de luminosidade (pontos vermelhos). Para detecção desses centros de luminosidade, é definido um filtro de limiar, que ajuda a eliminar possíveis “ruídos de fundo” na imagem. Após a filtragem, o centro de luminosidade é obtido através da equação de centro de massa. Atualmente utiliza-se  $\Delta\theta = 0,25^\circ$ , obtendo-se 1440 pontos por secção medida. A resolução longitudinal utilizada é de 1,0 mm, o que resulta em mais de 1,4 milhões de pontos por metro.

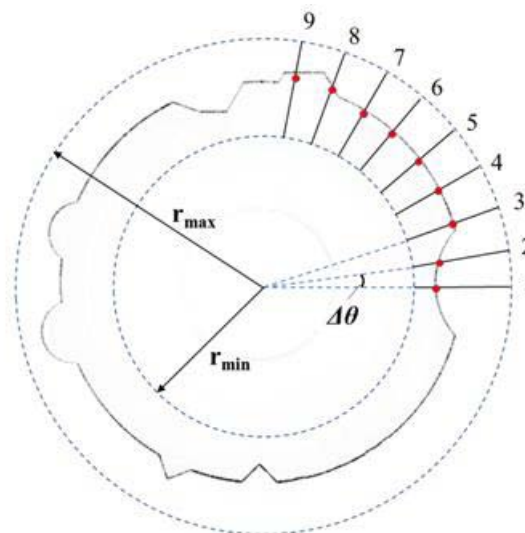


Figura 4 – Esquemático da detecção da linha do laser na imagem com passo em ângulo ( $\Delta\theta$ ).

O processamento das imagens é feito dinamicamente, ou seja, toda vez que uma imagem é adquirida ela já é enviada para ser processada pelo *software*. Considerando uma frequência máxima teórica da câmera de 60 Hz, o intervalo de tempo disponível para o processamento é de aproximadamente 16,7 ms. Devido ao curto intervalo de tempo para realizar tal tarefa, o processamento em computadores comuns torna-se inviável. Como solução, foi adotada a programação para placa de vídeo utilizando a plataforma de programação CUDA da NVIDIA, uma vez que as placas de vídeo têm um enorme poder de processamento paralelo, reduzindo drasticamente o tempo de processamento. O tempo de processamento de uma imagem em um computador com sistema operacional **Windows 7 64**, placa de vídeo GeForce GTX 260, processador E8500 e 4 GB de memória RAM ficou em torno de 2 a 3 ms.

Sistema de Navegação – Indexação da Posição e Ângulo

Para a obtenção da geometria tridimensional do duto é necessário obter várias imagens de seções ao longo do mesmo. A figura 5 ilustra o movimento do sistema enquanto realiza a medição.

De forma a medir e controlar o deslocamento  $\Delta d$  entre as tomadas de imagem foi desenvolvido um hodômetro. Esse consiste em um braço independente que solicitado por uma mola, mantém a roda pressionada contra a parede do duto. Diretamente ao eixo da roda é ligado um *encoder* que mede o deslocamento angular imposto ao sistema, que está relacionado com o deslocamento axial do perfilômetro. Outro parâmetro que precisa ser controlado durante a medição é o ângulo atual da aquisição de cada secção  $\Delta\phi$ , que pode ser

diferente devido a uma possível rotação indesejada do sistema ao longo de seu percurso. Para a medição desse ângulo de rotação utiliza-se um inclinômetro.

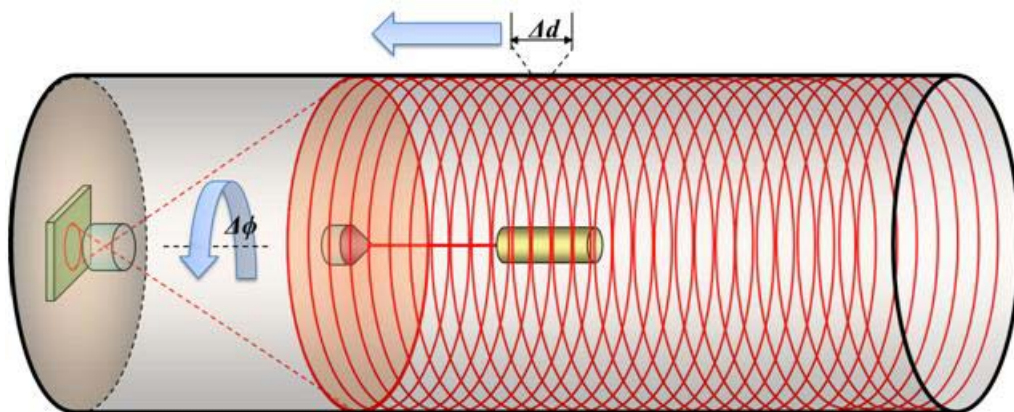


Figura 5 – Esquemático do deslocamento do sistema ao longo do duto com indicação da variação de deslocamento longitudinal ( $\Delta d$ ) e angular ( $\Delta\theta$ ).

Com o auxílio de um microcontrolador PIC (*Programmable Interface Controller*), os pulsos do *encoder* e do inclinômetro são armazenados e transferidos para a memória interna da câmera. Quando o número de pulsos equivale ao deslocamento configurado no PIC através do software de medição (valores usuais são 1,0 mm; 2,0 mm; 5,0 mm ou 10,0 mm), ele emite um sinal de disparo para a câmera. No momento de captura da imagem, a memória interna da câmera também é lida, obtendo assim, para cada seção, o número de pulsos referente ao deslocamento e à inclinação. Como o disparo da câmera é definido por incrementos na posição, e não por intervalos de tempo, a uniformidade da velocidade de medição do perfilômetro não é um parâmetro crítico. Entretanto, a velocidade de medição é limitada pela frequência máxima de aquisição da câmera em modo *trigger*. Caso a velocidade supere a máxima permitida, algumas seções podem não ser medidas, mas o perfilômetro não terá perdido sua referência de deslocamento, uma vez que os pulsos do *encoder* continuaram sendo contados pelo PIC. Para uma câmera com taxa de aquisição de 50 Hz em modo *trigger*, a velocidade máxima é de 50 mm/s a 500 mm/s, dependendo da resolução longitudinal desejada (1,0 mm e 10,0 mm respectivamente).

### Região de Sombra

Como todo sistema de triangulação laser, existe uma região de sombra ou oclusão, que é causada pela limitação do sistema em “ver” a linha do laser sobre variações “negativas” abruptas do mensurando. Conforme ilustrado no esquemático da figura 6, o ângulo máximo da variação do mensurando deve ser a metade do ângulo de visão do sistema ( $\theta_v$ ); caso contrário, o mesmo fica “cego” por uma distância ( $d_s$ ) determinada por (1). Existe um compromisso entre o ângulo de visão e a incerteza de medição do sistema, uma vez que quanto maior o ângulo, menos sensível será o sistema a variações na altura do mensurando.

$$d_s = \frac{h}{\text{tg}(\theta_v/2)} \quad (1)$$

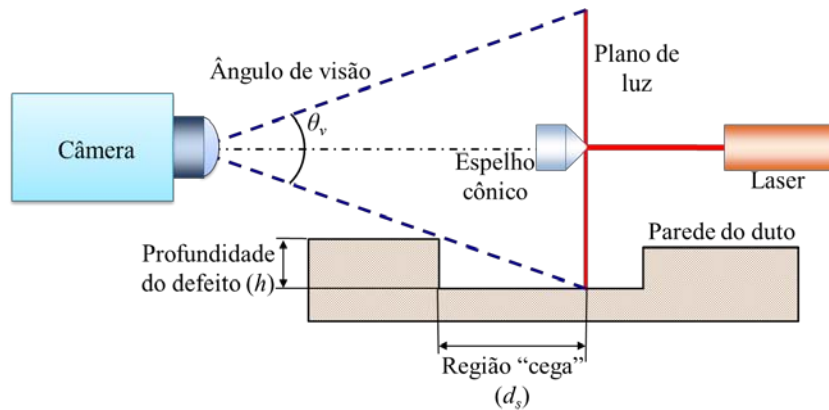


Figura 6 – Esquemático 2D da região de sombra.

### Aspectos construtivos

Uma foto do protótipo PEROLA-I montado pode ser vista na figura 7. Suas principais características são listadas a seguir:

- Câmera: *Gigabit Ethernet* (GigE), com resolução de 1024 x 1024 e frequência de 60 Hz;
- Faixa de medição radial: 64,4 a 88,4 mm;
- Incerteza radial:  $\pm 0,3$  mm;
- Resolução angular:  $0,25^\circ$  (1440 pontos por secção);
- Resolução longitudinal: 1, 2, 5 ou 10 mm;
- Erro longitudinal:  $< 2\%$ ;
- Velocidade máxima:  $45 \cdot$  (resolução longitudinal) mm/s;
- Raio de curvatura mínimo (apenas passagem): 1,5 m (10D);
- Raio de curvatura mínimo (medindo os  $360^\circ$ ): 2,5 m (17D).

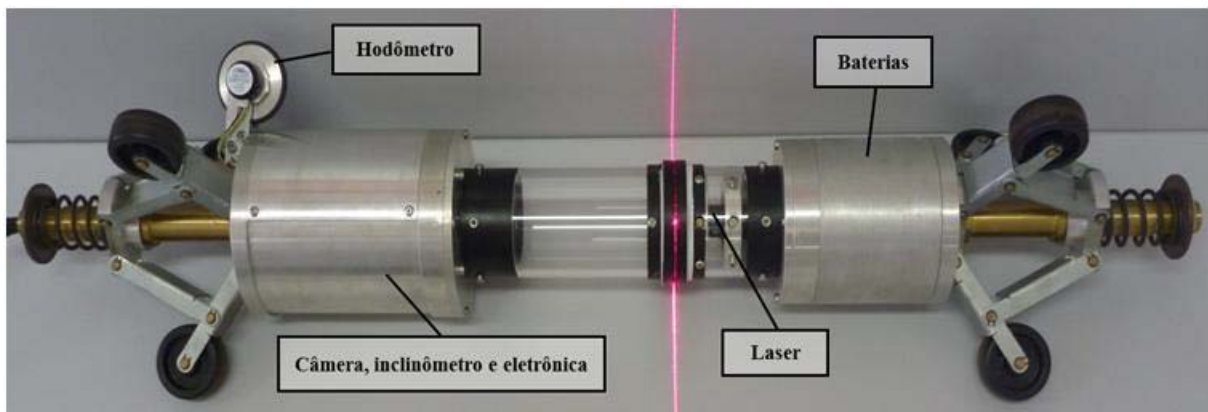


Figura 7 – Foto do primeiro protótipo do PEROLA-I com o laser ligado.

### Resultados

O sistema foi avaliado em bancada de teste, constituída por duas seções de tubulação de 152 mm (6") de diâmetro com 1,3 m de comprimento (total de 2,6 m). A bancada possui regiões cortadas onde é possível inserir placas com diferentes tipos de defeitos/artefatos. Na figura 8a, foto da esquerda, mostra uma região interna da tubulação com dois cordões de

solda, na imagem a direita pode se ver o respectivo resultado de medição. A figura 9 mostra uma placa onde foram usinados diferentes artefatos, todos foram detectados com grande riqueza de detalhe conforme a imagem a direita e a figura 10.

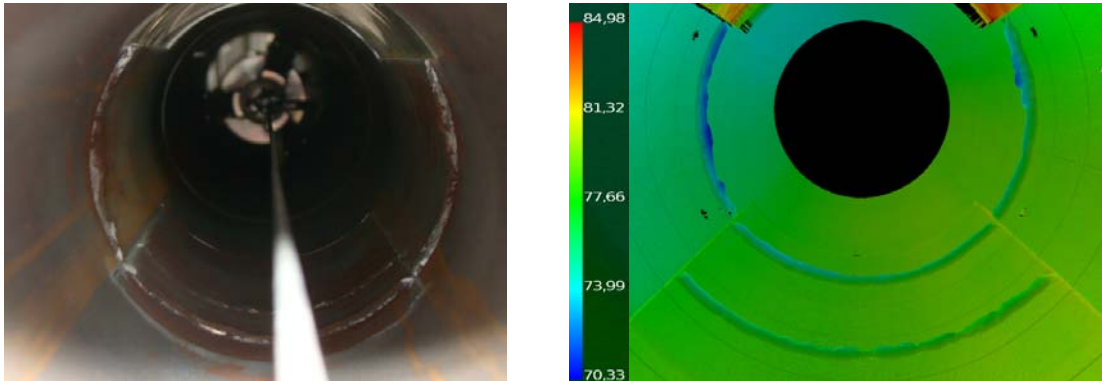


Figura 8 – Foto do cordão de solda com altura de 5 mm e espessura de 5 mm (esquerda). Resultado de medição (direita). Note que a foto foi feita do lado de fora do tubo, por isso o cordão incompleto (na região da tampa) aparece ao fundo.

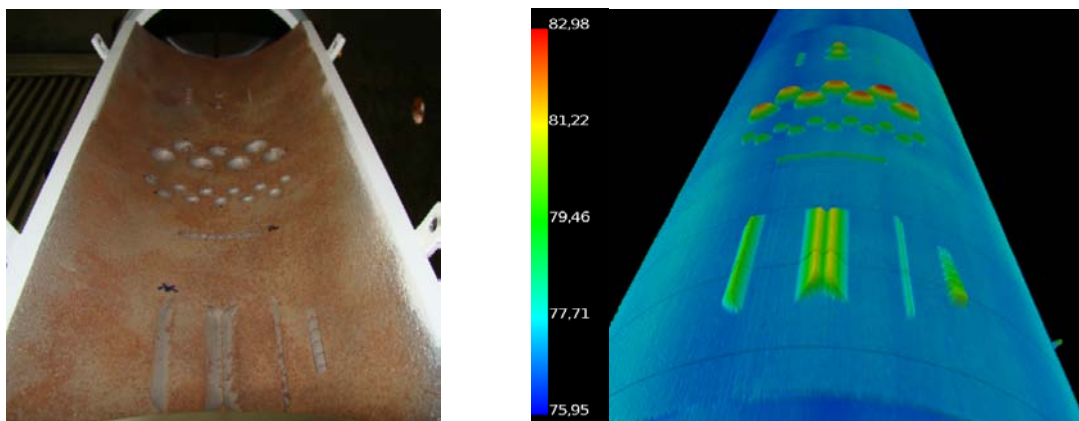


Figura 9 – Foto da placa de testes com defeitos artificiais utilizada nos ensaios (esquerda) e do resultado de medição da mesma (direita).

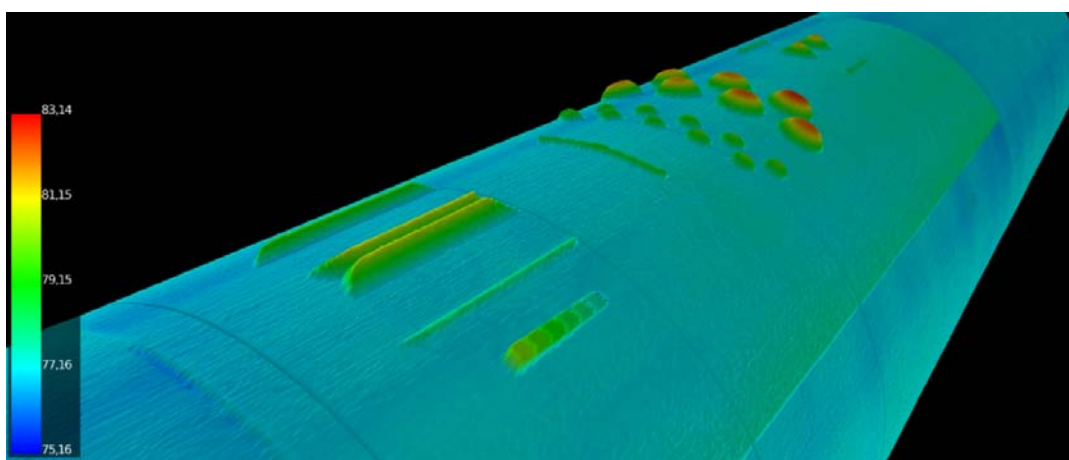


Figura 10 - Visão 3D da tampa com furos (escala de 75,2 mm a 83,1 mm).



## Perfilômetro Externo (PEROLA-E)

### Caracterização

### Princípio de Medição

O protótipo desenvolvido para medição externa se baseia em fotogrametria ativa (figura 11). O princípio utilizado é a estereoscopia, ou seja, na reconstrução tridimensional de uma cena que é observada por duas ou mais câmeras de ângulos diferentes. São utilizadas as matrizes de calibração de cada câmera (8), que contém dados sobre a posição e orientação espacial das câmeras e as coordenadas correspondentes em cada imagem dos pontos da cena observados pelas câmeras. Com estes dados, são calculadas as coordenadas tridimensionais de pontos observados na cena (9)(10).

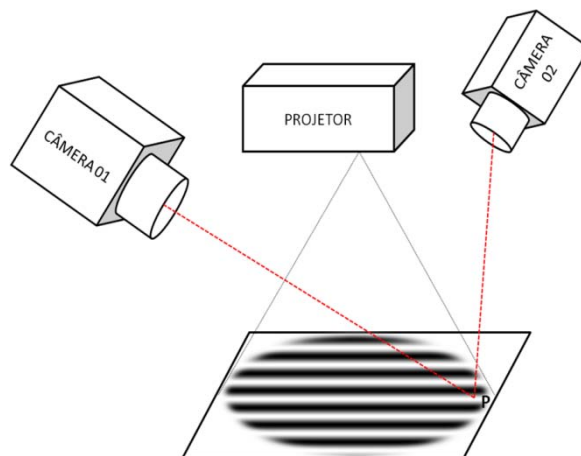


Figura 11 – Esquema demonstrando a técnica de fotogrametria ativa.

O método apresenta como resultado uma densa nuvem de pontos extraída da superfície visualizada pelas câmeras. Os resultados são descritos em coordenadas cilíndricas e com a resolução definida pelo sistema de medição. Outras características do método são a rapidez da medição e o fato de não haver contato com o mensurando.

Visando atender aspectos operacionais e metrológicos, o protótipo foi desenvolvido e construído de forma a respeitar algumas especificações importantes para uma utilização em campo. As suas dimensões e peso, por exemplo, foram diminuídas ao máximo, dando ao protótipo praticidade. A figura 12 mostra duas visões do protótipo: sem e com a cobertura externa.



Figura 12 - À esquerda, representação do protótipo sem a cobertura. À direita, o protótipo com a cobertura externa.

## Resultados

O sistema de medição desenvolvido foi empregado na medição de um tubo de PVC com 300 mm de diâmetro em laboratório. O tubo possui uma parte lisa e outra com amassamento simulado. Foram realizadas medições com o protótipo posicionado na vertical e na horizontal.

Os resultados apresentados a seguir estão em coordenadas cilíndricas e resolução lateral (na superfície) de 1 mm x 1 mm. A figura 13 exemplifica o resultado de medição obtido com o tubo sem defeitos. Nessa medição, a área mensurada foi de aproximadamente 250 mm x 400 mm, de onde foram extraídos cerca de 100.000 pontos. O tempo de medição foi de 30 s. O desvio padrão calculado, a partir de 5 medições, foi de 0,13 mm.

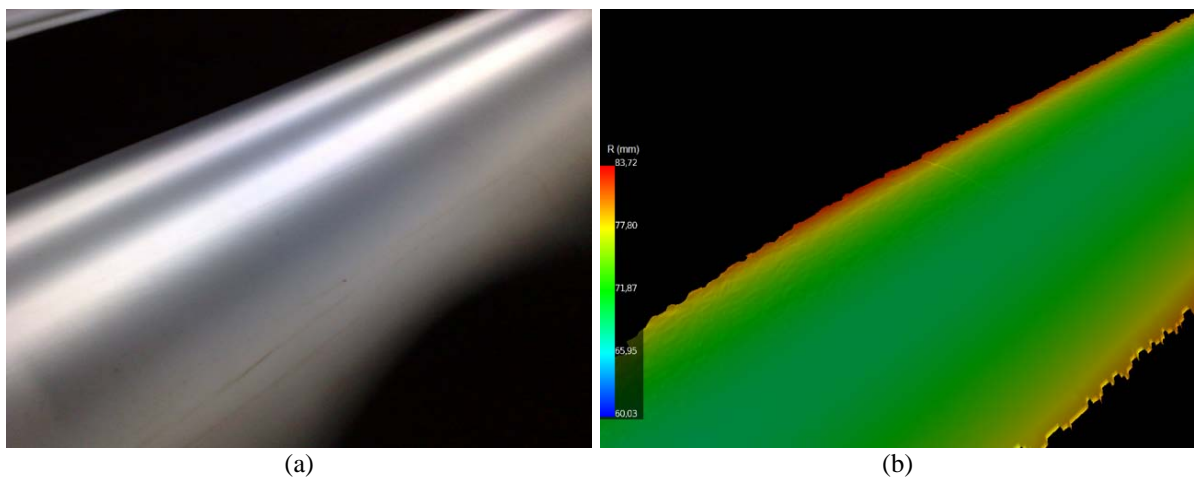


Figura 13 – (a) Fotografia mostrando o tubo de PVC com 300 mm de diâmetro. (b) Resultado da medição.

A figura 14 mostra a nuvem de pontos obtida numa região com amassamento no tubo de PVC. A profundidade do defeito, calculada em 32,3 mm pelo sistema é compatível com o valor de referência determinado por medições com contato.

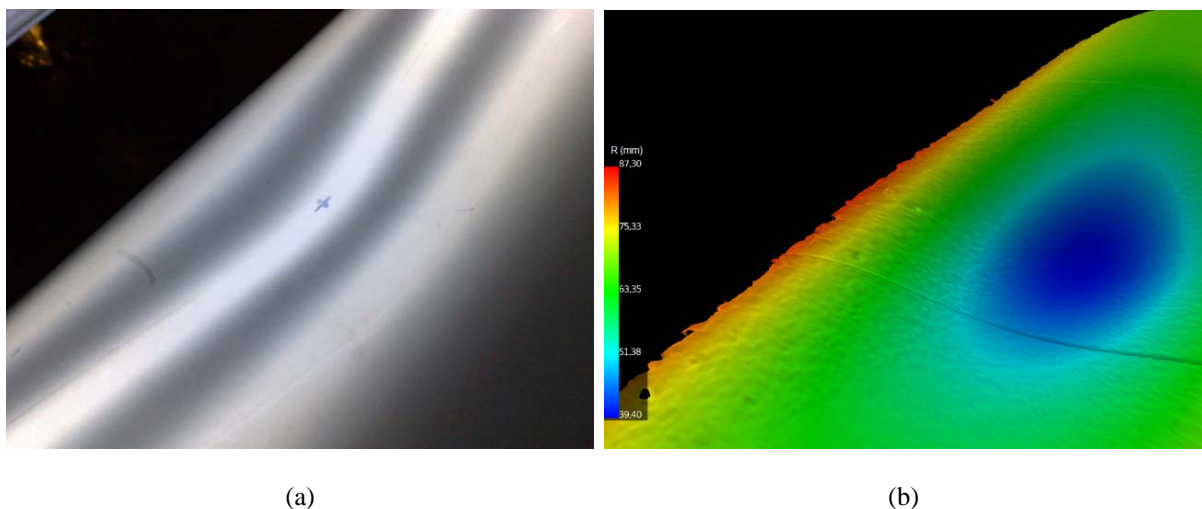


Figura 14 – (a) Imagem mostrando o amassamento realizado no tubo. (b) Resultado da medição.

---

## Conclusões

---

O presente trabalho descreve dois sistemas óticos para a inspeção interna e externa de dutos. O perfilômetro interno mostrou-se capaz de medir com grande riqueza de detalhes a superfície interna de dutos de 6" (152 mm). A velocidade de medição é de até 45 mm/s para resolução axial de 1 mm. Teoricamente o sistema pode atingir até 450 mm/s na resolução axial de 10 mm embora, até o momento, só tenha sido avaliado em até 166 m/s. A incerteza de medição com 95 % de confiabilidade é de  $\pm 0,3$  mm na direção radial. O erro de posicionamento axial máximo para a resolução de 1 mm com velocidade de até 45 mm/s foi de 0,3%.

A velocidade de medição, entre (50 e 500) mm/s, dependendo da resolução axial desejada, é compatível às janelas de inspeção disponíveis nas paradas em refinarias. Nestas velocidades, um tubo de 50 m de comprimento será inspecionado em 25 min ou 2,5 min, quando serão adquiridos cerca de 70 milhões ou 7 milhões de pontos respectivamente, dependendo da resolução longitudinal adotada. O sistema foi capaz de detectar todas as anomalias artificialmente produzidas nas tampas do corpo de prova ensaiado com clareza e riqueza de detalhes. O sombreamento é uma atual limitação do sistema, que se torna mais severa quando anomalias profundas, com paredes íngremes, estão presentes, como é o caso das anomalias aqui simuladas. Regiões corroídas com variações geométricas mais suaves, ou regiões expostas à fluência, não apresentarão sombras.

O protótipo PEROLA-E foi concebido para medição externa de dutos, sendo projetado de forma a ter desempenho satisfatório inclusive em campo. Aspectos dimensionais foram analisados para inferir praticidade e robustez ao protótipo. A autonomia e a rapidez da medição são características do sistema de medição. Sua aplicação principal é na avaliação de áreas danificadas, visando obter dados mais detalhes sobre a estrutura do dano.

É necessário, no entanto, que a superfície a ser mensurada esteja limpa e de preferência seja clara e fosca, de forma a melhorar as condições de medição. A utilização de tinta spray branca fosca, ou uma pulverização com um pó fino e branco de dióxido de titânio (esse pode ser removido após a medição), são alternativas viáveis dependendo do mensurando.

Como próximas etapas do desenvolvimento dos sistemas, algumas já em andamento, são citadas:

- realizar testes em campo;
- visualização gráfica usando recursos de realidade virtual e imagens 3D para melhorar a percepção das anomalias geométricas de tubos inspecionados;
- identificação, classificação e catalogação de defeitos em tabela priorizada para facilitar a inspeção;
- aumentar a autonomia do sistema para inspeções de trechos de até 1000 m de comprimento;
- desenvolver modelos apropriados para outros diâmetros de tubulações;
- aumentar a área de medição do sistema de inspeção externa.

---

**Referências**

---

- (1) DET NORSKE VERITAS (Noruega). **Optopig Verification Test: Independent Comparison of Optopig Inspection Findings Versus Actual Fabricated Faults**. Høvik, 2003. 24 p.
- (2) Hartrumpf, M. and Munser, R., “**Optical three-dimensional measurements by radially symmetric structures light projection**”, Applied Optics 36(13), 2923-2928 (1997).
- (3) M. Ritter and C. W. Frey, “**Rotating optical geometry sensor for inner pipe-surface reconstruction**”, Proc. SPIE 7538, 753803 (2010); doi:10.1117/12.838851.
- (4) BUSCHINELLI, Pedro D. V.. **Desenvolvimento de um Sistema Óptico por Triangulação Cônica para Inspeção do Perfil Interno de Dutos**. Maio. 2007. 135f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, UFSC, Florianópolis, 2007.
- (5) T. Yoshizawa; T. Wakayama, “**Development of an inner profile measurement instrument using a ring beam device**”, Proc. SPIE 7855, 78550B (2010); doi:10.1117/12.870825.
- (6) T. Yoshizawa; M. Yamamoto; T. Wakayama, “**Inner profile measurement of pipes and holes using a ring beam device**”, Proc. SPIE 6382, 63820D(2006); doi: 10.1117/12.689317.
- (7) T. Wakayama; H. Takano; T. Yoshizawa, “**Development of a compact inner profile measuring instrument**”, Proc. SPIE 6762, 67620D (2007); doi: 10.1117/12.733215.
- (8) ZHANG, Z.: **A flexible new technique for camera calibration**. 1998. Technical Report MSR-TR-98-71, Microsoft Research. Disponível em: <http://research.microsoft.com/~zhang/Calib/>. Acessado em 20/07/2008.
- (9) HAERTEL, Maryah Elisa Morastoni. **Perfilômetro Óptico Externo para Dutos Expostos à Corrosão**. Florianópolis, 2009. 79p. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Curso de Pós Graduação em Metrologia Científica e Industrial. Universidade Federal de Santa Catarina.
- (10) FANTIN, A. V.; PINTO, T. L. F. C.; GONÇALVES JUNIOR, A. A..**An Efficient Mesh Oriented Algorithm for 3D Measurement in Multiple Camera Fringe**. In: Optical Metrology 2007, 2007. Munique-Alemanha. Proceedings of SPIE, 2007. v.6616.