

Metrologia dimensional Laser

O. D. D. SOARES, A. O. S. GOMES

Centro de Física da Universidade do Porto
Faculdade de Ciências, Praça Gomes Teixeira, 4000 PORTO

1. Introdução

Em Metrologia uma das áreas mais significativas em volume de operações (Indústria, Ciência e Biomedicina) é a Metrologia dimensional.

Sistemas metrológicos de tipo diverso: geométrico, radiométrico, interferométrico, difractivo, espectrométrico, citando apenas os de uso mais corrente, podem ser concebidos a partir da exploração de características geométricas e ondulatórias da radiação Laser.

Para além de possuir as características comuns às técnicas ópticas: fiabilidade, flexibilidade, elevada sensibilidade, grande precisão, facilidade de emprego e operação em tempo real, estes sistemas apresentam algumas vantagens adicionais:

- i) — Mensuração à distância com ausência de contacto físico e isenta de contaminações: mecânica, material e energética.
- ii) — Mensuração em regiões pouco acessíveis.
- iii) — Mensuração em ambientes severos e agressivos.
- iv) — Possibilidade de medida global (processamento paralelo da informação em tempo real).

Pela flexibilidade de implementação que apresenta, a Metrologia dimensional Laser permite ainda reduzir um elevado número de operações metrológicas complexas a operações combinadas de metrologia unidimensional, revestindo-se de grande importância a criação e desenvolvimento de métodos e técnicas neste domínio.

No sistema metrológico que se descreve, o compromisso entre extensão de gama de medida e precisão desejável levou a considerar princí-

pios físicos diferentes para operações metrológicas aparentemente idênticas, por forma a manter-se a um nível aceitável a complexidade do sistema, extrair-se o máximo da flexibilidade e ampliar-se as áreas de aplicação. O sistema desenvolvido, que cobre uma gama de medida do micrometro aos centímetros, assumiu duas configurações distintas: uma orientada para o processamento unidimensional de figuras de difracção, sendo no entanto de utilização mais geral, e outra baseada num princípio de varrimento do feixe Laser, que permite obter dimensões lineares, de grandeza apreciavelmente mais elevada que a anterior.

O sistema, para além de aproveitar as características intrínsecas da tecnologia Laser, procura retirar vantagens do elevado desenvolvimento dos fotodetectores, nomeadamente dos «array» de fotodíodos e das possibilidades oferecidas pela microelectrónica e controlo por microprocessador.

2. Princípios metrológicos do sistema

2.1 Princípio difractométrico

O princípio difractométrico baseia-se no facto de um objecto iluminado por um Laser produzir uma configuração própria, dita figura de difracção, cuja distribuição de intensidade e fase codifica informação dimensional sobre o objecto. Em particular, quando este tem uma estrutura e forma regulares podem ser obtidas dimensões lineares do objecto por análise radiométrica da figura de difracção e posterior descodificação metrológica, Fig. 1.

2.2 Princípio telemétrico

O feixe Laser pode apresentar uma apreciável directividade e fraca divergência permi-

tindo materializar uma direcção espacial com elevada precisão. Utilizando um espelho móvel montado num sistema galvanométrico, é pos-

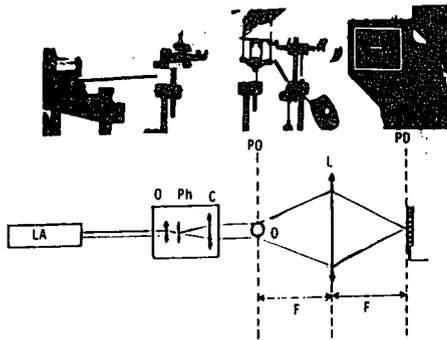


Fig. 1 — Princípio difractométrico.

(LA—laser; O—objectiva de microscópio; Ph—pin-hole; C—lente colimadora; PO—plano objecto; PD—plano imagem de difracção; L—lente transformadora; F—distância focal).

sível efectuar um varrimento transversal do feixe Laser, e estabelecer uma relação entre o movimento do feixe e uma dimensão linear do objecto.

Na forma mais simples o feixe move-se paralelamente a si próprio, representando o tempo de varrimento um dado deslocamento, e conseqüentemente o tempo em que o detector do feixe regista a sombra provocada pelo objecto poderá medir a dimensão linear deste no sentido do varrimento, Fig. 2.

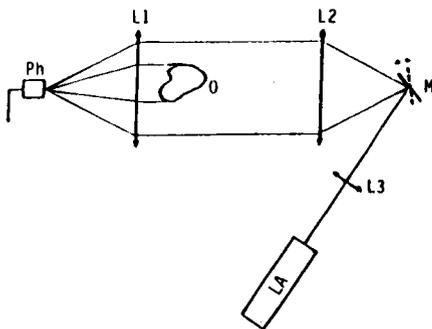


Fig. 2 — Princípio telemétrico.

(LA—laser; M—espelho deflector; L1 e L2—lentes colimadoras; L3—lente correctora de divergência; O—objecto; Ph—Foto-Díodo).

3. Configurações do sistema metrológico Laser

3.1 Configuração difractométrica [1, 3]

A Fig. 3 representa um diagrama de blocos na configuração difractométrica do sistema metrológico, em que o sistema óptico pode variar de acordo com a aplicação particular.

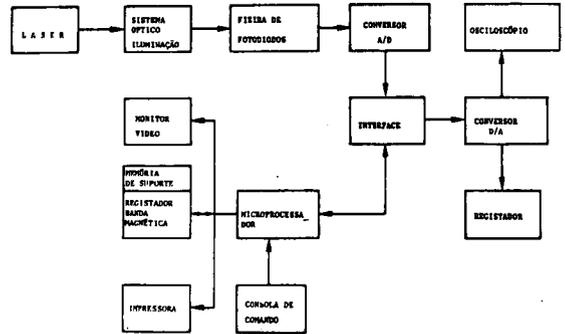


Fig. 3 — Diagrama de blocos da configuração difractométrica do sistema metrológico.

A unidade radiométrica da figura de difracção é constituída por um «array» de fotodíodos de dimensões micrométricas ($15 \mu\text{m} \times 26 \mu\text{m}$ separados por $20 \mu\text{m}$). O fotossinal obtido, depois de digitalizado, é memorizado e processado pelo microprocessador, para descodificação metrológica e obtenção da medida.

O sistema desenvolvido possui periféricos de entrada e saída de dados, comandos e programas tais como: teclado, monitor vídeo, impressora, gravador-reprodutor magnético e traçador gráfico.

Para a descodificação metrológica, a partir da figura de difracção, são usados essencialmente dois métodos: localização de valores característicos da distribuição de intensidade, tais como os mínimos, e seu relacionamento com a dimensão a medir, ou cálculo de autocorrelação por aplicação da F.F.T. à distribuição de intensidade da figura de difracção.

O sistema nesta configuração foi explorado desde alguns micrometros até ao milímetro, com resoluções de cerca de $1 \mu\text{m}$.

Na Fig. 4 representa-se um exemplo de aplicação do sistema na medida de folgas de dilatação de segmentos de pistão.

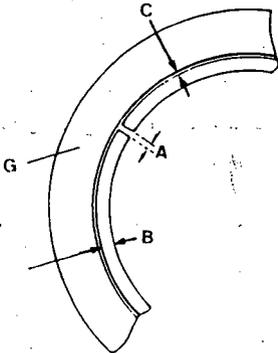


Fig. 4 a) — Controlo dimensional de segmentos de pistão.

(G — anel metrológico; A — folga de dilatação; B — largura do pistão; C — fenda de ajuste).

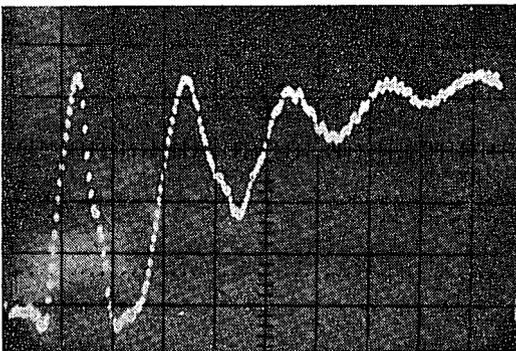


Fig. 4 b) — Distribuição de intensidade da figura de difracção na medida da folga de dilatação de um pistão. Controlo dimensional de segmentos para pistão de automóvel.

O sistema nesta configuração foi ainda utilizado noutras montagens metrológicas para aplicações em: interferometria, detecção de fase, análise de superfícies, metrologia de granitado Laser (“speckle”), metrologia Moiré e espectrometria.

3.2 Configuração telemétrica [2, 3]

A implementação prática do princípio telemétrico depara com vários problemas: efeito

de vibrações, ruído, erros de posicionamento do feixe sobre o eixo do espelho móvel, não-linearidade do varrimento, variação de velocidade do varrimento, flutuação da intensidade do Laser, variações térmicas, etc.

Para os ultrapassar a configuração final teve de ser bastante elaborada, Fig. 5.

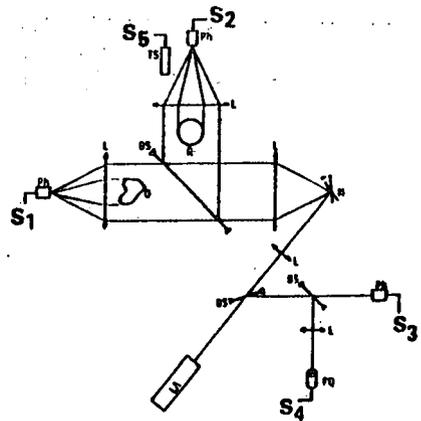


Fig. 5 — Configuração do sistema telemétrico. (O — objecto a medir; R — padrão de referência; LA — laser; TS — sensor térmico; L — lente; BS — divisor de feixe; Ph — fotodíodo; FQ — fotodíodo de quatro quadrantes; M — espelho deflector; S — fotossial).

Os fotossinais S_1 e S_2 são amplificados e comparados com a tensão de referência, ajustada de acordo com o fotossinal S_3 . As saídas

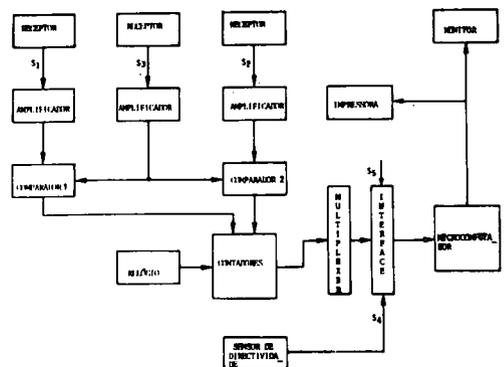


Fig. 6 — Diagrama de blocos da configuração telemétrica do sistema real.

dos comparadores controlam as entradas de relógio para os contadores, um dos quais conta

impulsos em número proporcional às dimensões do objecto e o outro em número proporcional às dimensões do padrão de acordo com a sombra do feixe Laser sentida pelos fotodetectores Ph_1 e Ph_2 respectivamente. Os valores das contagens e os sinais S_4 e S_5 que controlam respectivamente a directividade do feixe e a variação térmica são introduzidos no micro-computador para obtenção da medida, Fig. 6.

Esta configuração do sistema foi explorada sob várias formas de modo a aproveitar a flexibilidade do sistema óptico e as potencialidades do método, Fig. 7.

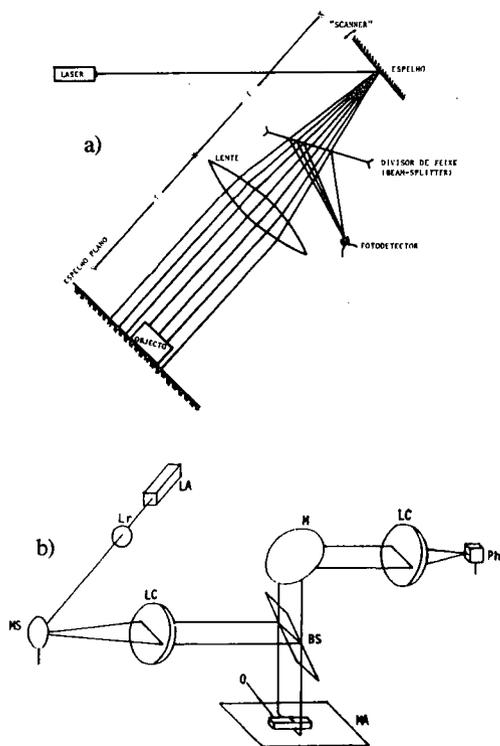


Fig. 7 — Montagens em retro-reflexão para a configuração telemétrica do sistema metrológico.

a) — Montagem em retro-reflexão; b) — Montagem em retro-reflexão com dupla passagem do feixe.

(M — espelho; O — objecto; LA — laser; LC — lente colimadora; BS — divisor do feixe; Ph — fotodíodo; MS — espelho deflector; Lr — lente correctora de divergência; MA — espelho auxiliar).

Numa gama de medida de 1 mm a 50 mm obtiveram-se resoluções da ordem dos 10 μm ,

representando-se na Fig. 8 um resultado típico da medida de uma peça mecânica de calibração.

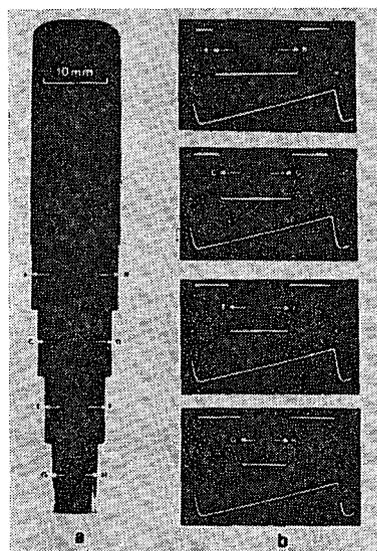


Fig. 8 — Resultados típicos obtidos na configuração telemétrica do sistema Metrológico.

a) — Peça mecânica calibrada; b) — visualização da medida em osciloscópico.

Traço superior — sinal do fotodíodo detector da sombra do objecto;

Traço inferior — evolução temporal do varrimento.

4. Conclusão

O sistema desenvolvido em ambas as configurações mostra o interesse da exploração de características geométricas e ondulatórias na concepção de sistemas metrológicos que devem revestir na sua realização a menor complexidade possível dentro da desejada adequação às medidas a efectuar.

REFERÊNCIAS

- [1] O. D. D. SOARES, A. O. S. GOMES — *Dissecador de Imagens Metrológico Unidimensional*, Patente n.º 80074, I.N.P.I., Portugal (1985).
- [2] O. D. D. SOARES, A. O. S. GOMES — *Micrómetro Laser de Varrimento*, Patente n.º 80335, I.N.P.I., Portugal (1985).
- [3] O. D. D. SOARES, A. O. S. GOMES — *Laser Dimensional Metrology*, International Advanced Study Institute, Viana do Castelo (1984).