

# Sensores de nível por LASER

Os sensores por LASER<sup>1</sup> permitem medir o nível de sólidos ou de líquidos, mesmo os que são transparentes, através da utilização de sofisticados algoritmos de processamento de sinal, de controladores de pulsos LASER e de circuitos temporizadores de precisão.

Apesar da medida de nível/distância por LASER ser de ampla utilização na indústria mineira desde há longa data, em particular na determinação remota da posição de objectos em movimento, na automação de trituradores, em operações de enchimento, etc., não era tão comum quanto a realizada recorrendo a sensores por ultrassons ou por RADAR. Contudo, com o rápido decréscimo do preço dos LASER e dos fotodetectores, a tecnologia LASER tem vindo a ganhar terreno no que diz respeito à medida de nível generalizada.

À semelhança dos sensores por ultrassons e por RADAR, a medida de nível por LASER de um determinado produto num reservatório é obtida através da medição do intervalo de tempo que medeia entre a emissão de um pulso LASER e a detecção da sua reflexão, mas existem outros métodos, como se descreve de seguida, em §1. No caso do sensor de nível por LASER, o sinal emitido é um pulso de luz, ao invés de uma onda ultrassónica ou electromagnética.

## 1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O índice de refração  $n$  de um determinado meio óptico é um número adimensional, definido pelo quociente entre a velocidade da luz no vazio,  $c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$ , e a velocidade da luz no referido meio,  $v$ ,

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

A título de exemplo, refere-se que o índice de refração da água é  $n_{\text{H}_2\text{O}} = 1,333$ , o que significa que a luz se propaga 1,333 vezes mais depressa no vazio do que na água.

Outra forma de interpretar o índice de refração é dizer que este determina a quantidade de feixe luminoso que é dobrada, ou refractada, quando entra num determinado material.

Ora, o valor do índice de refração é dependente do comprimento de onda do feixe luminoso,  $\lambda$ , da massa volúmica,  $\rho$ , do gás que é atravessado pelo feixe luminoso, da pressão,  $p$ , e da temperatura,  $T$ , a que esse gás se encontra. Para um determinado valor fixo de  $\lambda$  (feixe de luz monocromático) tem-se  $n = n(\rho, p, T)$ . Aplique-se a lei dos gases perfeitos a dois estados de um mesmo gás, caracterizados pelos ternos  $(\rho, p, T)$  e  $(\rho_0, p_0, T_0)$

$$\begin{cases} \frac{p}{\rho T} = k_1 \\ \frac{p_0}{\rho_0 T_0} = k_1 \end{cases} \Rightarrow \frac{p}{\rho_0} = \frac{p T_0}{\rho_0 T} \quad (2)$$

em que  $k_1$  é uma constante. Sendo  $p$  função de  $\rho$  e de  $T$ , tem-se

$$n = n(\rho, p, T) = n(\rho(p, T)) = n(p, T) \quad (3)$$

Recorrendo, agora, à equação de Gladstone-Dale<sup>2</sup>, a qual relaciona o índice de refração,  $n$ , com a massa volúmica do gás,  $\rho$ , para os mesmos dois anteriores estados do gás

$$\begin{cases} \frac{n-1}{\rho} = k_2 \\ \frac{n_0-1}{\rho_0} = k_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{n-1}{n_0-1} \quad (4)$$

em que  $k_2$  é uma constante.

Substituindo a equação (4) na equação (2) e resolvendo em ordem a  $n$ , obtém-se

$$n = \frac{\rho T_0}{\rho_0 T} (n_0 - 1) + 1 \quad (5)$$

Os valores de  $\rho_0$  e de  $T_0$  costumam ser definidos pelas condições normais de temperatura e de pressão, referentes à condição experimental com temperatura de 273,15 K (0 °C) e pressão de 101 325 Pa.

Por último, recorrendo às equações (5) e (1), é possível determinar a velocidade de propagação do feixe luminoso,  $v$ , num determinado meio.

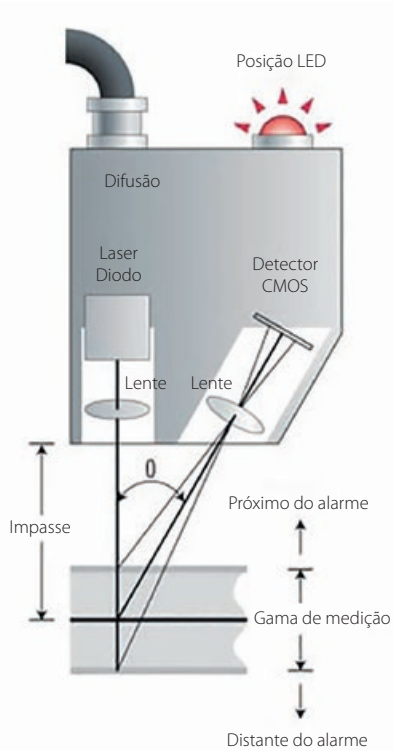
Existem três métodos de medida de nível por LASER: a triangulação, o tempo de propagação ("time of flight") e confocal cromático.

## 2. MÉTODO DA TRIANGULAÇÃO

Este método é assim designado pelo facto do sensor, do feixe luminoso emitido e reflectido, formarem um triângulo (veja-se a Figura 1).

<sup>1</sup> Acrónimo do inglês "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation".

<sup>2</sup> John Hall Gladstone, químico britânico, 1827–1902. Thomas Pelham Dale, sacerdote ritualista Anglo-Católico inglês, 1821–1892.



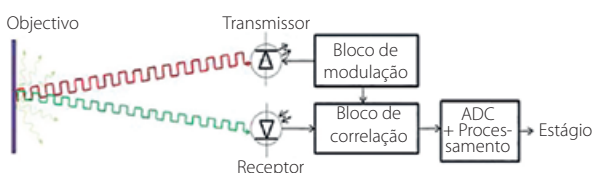
**Figura 1.** Esquema de funcionamento de um sensor de nível por LASER utilizando o método da triangulação.

O feixe luminoso emitido é focado por uma primeira lente sobre a superfície reflectora, cujo nível se pretende medir. Seguidamente, o feixe reflectido passa por uma segunda lente, a lente colectora, colocada adjacientemente à fonte emissora LASER. Esta lente colectora é responsável pela focagem da imagem do ponto reflector numa câmara de matriz linear (matriz CMOS, do inglês *“Complementary Metal-Oxide-Semiconductor”*), a qual vê o intervalo de medição ao centro de um ângulo que pode variar entre os 45° e os 65°, sendo a imagem do ponto reflector, transposta para os píxeis da câmara, processada de forma a permitir a determinação da distância à superfície cujo nível se pretende medir.

A câmara tem uma acção integradora sobre a luz por ela captada, desta forma, tempos de exposição mais longos permitem maior sensibilidade em situações de reflexões fracas.

### 3. MÉTODO DO TEMPO DE PROPAGAÇÃO

Os sistemas com modulação do feixe luminoso também utilizam o intervalo de tempo que medeia entre a emissão de um pulso LASER e a detecção da sua reflexão, embora este intervalo de tempo não seja medido directamente (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema de funcionamento de um sensor de nível por LASER utilizando o método do tempo de propagação.

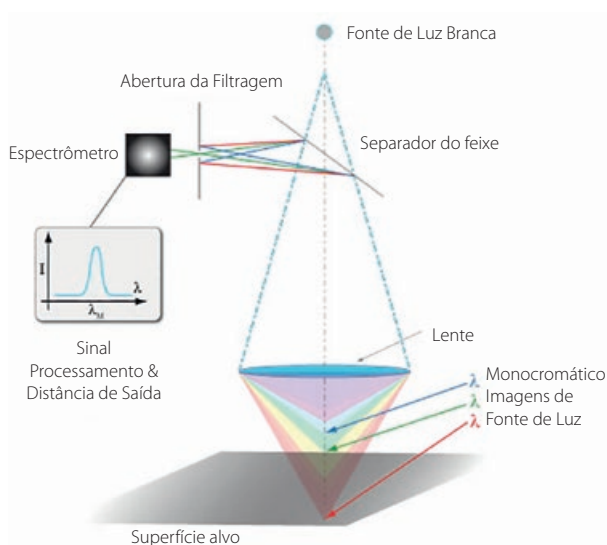
Em vez, a intensidade do pulso LASER é forçada a variar rapidamente, de modo a gerar um sinal variável no tempo. O intervalo de tempo é, então, medido indirectamente através da comparação do pulso LASER emitido com o sinal atrasado reflectido pela superfície. Um exemplo desta abordagem é a medida de fase em que o feixe emitido pelo LASER é sinusoidal e a fase deste sinal é comparada com a do feixe reflectido.

A medida de fase é limitada, na sua precisão, pela frequência de modulação e pela capacidade do sensor em detectar as diferenças de fase entre os sinais emitidos e reflectidos.

#### 4. MÉTODO CONFOCAL CROMÁTICO

Os sensores confocais cromáticos recorrem a uma fonte de luz branca para medirem, com precisão, a distância à superfície cujo nível se pretende conhecer. Alguns destes sensores permitem medidas com níveis de precisão até aos 20 nm, sendo, também, adequados para utilizar com materiais transparentes, e.g. vidro, lentes, líquidos, entre outros.

O princípio de funcionamento deste sensor encontra-se representado na Figura 3 e baseia-se na correcta detecção das cores provenientes da luz que é reflectida pelas superfícies, cujo nível se pretende medir.



**Figura 3.** Esquema de funcionamento de um sensor de nível por LASER utilizando o método confocal cromático.

A luz branca é focada sobre a superfície reflectora recorrendo-se a um sistema óptico multi-lente, responsável pela dispersão desta luz branca, em cores monocromáticas ao longo do eixo de medida. Através de uma calibração, efectuada durante o processo de fabrico do sensor, é atribuída a cada comprimento de onda, de cada cor, uma distância específica à superfície reflectora. Apenas o comprimento de onda que é exactamente focado sobre a referida superfície reflectora, é utilizado para a medição, sendo esta cor monocromática, reflectida pela superfície, transmitida através de uma abertura confocal até um espectrómetro, capaz de detectar e de processar as alte-

rações espectrais e de calcular as distâncias até às superfícies reflectoras, i.e. o nível.

#### 5. VANTAGENS E INCONVENIENTES DA MEDIÇÃO DE NÍVEL POR LASER

Uma das principais razões para a grande disseminação da aplicação dos sensores por LASER reside no facto da simplicidade da sua utilização. Os feixes LASER propagam-se através do espaço com uma divergência mínima, o que significa que estes permanecem fortemente focados, mesmo para grandes distâncias. Uma vez que o feixe LASER é muito convergente e de reduzido diâmetro, entre os 0,8 mm e os 4 mm, não interfere com o meio envolvente, sendo-lhe, por isso mesmo, insensível. Os sensores por ultrassons ou por RADAR emitem feixes com diâmetros de abertura maiores, exigindo um cuidado extra com a possibilidade de surgimento dos falsos ecos e obrigando a ajustes extra na calibração do sensor, sempre que haja alterações estruturais no interior do reservatório, e.g. a acumulação e aderência de impurezas às paredes deste.

Estes sensores são alimentados a dois fios, 4 mA a 20 mA, permitindo a medida do nível de líquidos até 30 m e do nível de sólidos até 100 m.

A medição do nível em reservatórios, através de sensores por LASER, apresenta vantagens e inconvenientes em relação aos outros métodos de medida de nível, nomeadamente:

##### Vantagens:

- Uma vez que o feixe LASER é muito convergente e de reduzido diâmetro, permite que seja disparado através de tubos estreitos (diâmetros tão pequenos quanto 2");
- O método de medição não é afectado pela permitividade eléctrica dos materiais, permitindo obter com facilidade o nível de materiais com reduzida permitividade eléctrica, como plásticos e óleos;
- Pode utilizar comunicação com protocolo HART;
- A alimentação é feita a dois fios, 4 mA a 20 mA;
- É de utilização e de instalação simples, não necessitando de calibrações adicionais, mesmo quando o sensor é mudado de local de instalação;
- Não existe limitação para o ângulo de incidência na medida de nível para sólidos;
- É apropriada para a medição de nível nas indústrias alimentar e farmacêutica, devido à não-existência de qualquer espécie de contacto;
- Possui certificação para atmosferas explosivas, também aplicável ao próprio feixe LASER, o que significa que a potência do LASER é suficientemente baixa para que este não seja capaz de ignificar um gás inflamável.

##### Inconvenientes:

- É tipicamente mais cara, meramente devido à tecnologia envolvida, embora o preço venha a descer;
- É mais delicada devido à necessidade de manter uma calibração muito precisa;
- Não produz resultados tão satisfatórios para superfícies muito brilhantes;
- Não permite realizar tão boas medidas através de poeiras e vapores. ❗