



DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DE NÍVEL DE LÍQUIDOS COM ALTA RESOLUÇÃO

Roberto Furini Filho, SERMAT II / PETROBRAS, e-mail furini@centroin.com.br

Alcir de Faro Orlando, Depto. Eng. Mecânica, PUC-Rio, e-mail afo@mec.puc-rio.br

***Resumo.** A medição do nível de líquido em tanques de armazenamento de produtos de petróleo é importante para se garantir o controle financeiro da movimentação do mesmo, normalmente feito em grandes quantidades, de forma que pequenos erros de medição podem resultar em grandes lucros ou prejuízos. Existem vários instrumentos que executam esta tarefa comercialmente, com repetitividade melhor do que ± 1 mm. A sua calibração requer um padrão com alta resolução e confiabilidade. Este, foi desenvolvido usando o princípio da refração de um feixe luminoso colimado ao passar por uma interface líquido/gás ou líquido/líquido, com uma incerteza melhor do que $\pm 0,1$ mm. O presente trabalho descreve o sistema desenvolvido e testes para a sua qualificação. Estes incluem o sistema de calibração empregado para interfaces óleo/água, óleo/ar e água/ar. Medições e comparações de desempenho com um medidor que utiliza o efeito capacitivo são feitas para se demonstrar a superioridade deste padrão em relação aos instrumentos disponíveis no mercado, incluindo a metodologia para a estimativa da incerteza da medição.*

***Palavras-chave:** Nível, Medidor, Tanque de armazenamento*

1. INTRODUÇÃO

Todos os conceitos envolvidos em metrologia que se aplicam às características metrológicas de instrumentos de medição, tais como classe de exatidão, sensibilidade, resolução, repetitividade e reprodutibilidade, Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (1995), não fazem referência ao tempo de uso em que estas características devam se manter nas condições normais especificadas para as monitorações. Trata-se, portanto, de associar o conceito de estabilidade e deriva a estas características metrológicas, de forma a complementar as especificações dos instrumentos.

A aplicação desses conceitos nas especificações das características metrológicas dos instrumentos tem sido negligenciada. Isto porque em nível industrial, ou mesmo laboratorial, as intervenções para ajustes, calibração ou manutenção não implicam em custos elevados, considerando-se a acessibilidade ao instrumento ou o tempo indisponível em que um determinado mensurando passe a não ser monitorado.

Os conceitos de estabilidade e deriva passam a ser relevantes quando se consideram instrumentos de medição que serão instalados em plataformas de petróleo, *off-shore*, em profundidades marítimas de até 2000 m, onde a acessibilidade ou a retirada de instrumentos

para ajustes, calibração, ou manutenção, implica em custos elevados. Deve-se considerar, também, o lucro cessante decorrente da parada de monitoração do processo, que supera em muito o valor do próprio instrumento. O mesmo acontece em instalações *on-shore* ou industriais, onde a instabilidade das características metrológicas com tendência crescente das incertezas, também implicam em perdas de receita ou na dificuldade de otimização do processo.

Quando os parâmetros tempo e condições de operação estão envolvidos no desempenho de um instrumento de medição, os conceitos de confiabilidade, disponibilidade, taxa e modos de falha, aplicados a equipamentos industriais de uma forma geral, podem ser utilizados para melhor especificar ou mesmo quantificar a estabilidade metrológica do instrumento. Os seguintes conceitos foram então aplicados neste estudo, O'Connor (1985) e Kececioglu (1993).

- Falha metrológica : Degradação das características metrológicas de um instrumento abaixo das condições especificadas para quaisquer características ou resultados de medição), o que pode levar à inoperância do mesmo);

- Confiabilidade metrológica : Probabilidade de um instrumento realizar uma determinada medição sem apresentar falhas metrológicas, sob condições estabelecidas para um período de tempo especificado;

- MTBF (Tempo médio entre falhas) : Tempo médio entre as falhas metrológicas de um instrumento de medição;

- MTTF (Tempo médio para a ocorrência da falha) : Tempo médio decorrido até a falha metrológica de um instrumento de medição;

- Taxa de falhas metrológicas observadas : Razão entre o número total de falhas metrológicas observadas em uma amostra de medições e o número total de medições realizadas, para um tempo especificado.

Com a finalidade de analisar o desempenho de instrumentos de medição de nível, usados em tanques de armazenamento de óleo, e determinar os parâmetros de falha acima descritos, foi construída uma bancada de testes. Nela o instrumento testado mede continuamente o nível de uma interface líquido/gás, ou líquido/líquido, que periodicamente passa por posições pré-determinadas de nível conhecido, simulando o processo de enchimento e esvaziamento do tanque de óleo. A Tabela 1 apresenta o princípio de operação, e as incertezas de medição estimadas pelo fabricante, de cinco instrumentos que estão sendo submetidos aos testes.

Tabela 1 : Características dos instrumentos a serem testados

| Instrumento | Princípio | Incerteza de medição | | Faixa de |
|-------------|---------------|----------------------|-------------|-----------|
| | | Nível | Temperatura | Nível |
| | | mm | °C | m |
| 1 | Capacitivo | $\pm 3,0$ | $\pm 0,5$ | 0,3 a 3,5 |
| 2 | Servo-operado | $\pm 1,0$ | $\pm 0,5$ | 0 a 30 |
| 3 | Radar | $\pm 1,6$ | $\pm 0,5$ | 0 a 19,12 |
| 4 | Servo-operado | $\pm 1,0$ | $\pm 0,5$ | 0 a 10 |
| 5 | Radar | $\pm 1,0$ | $\pm 0,5$ | 0 a 10 |

Os instrumentos a serem testados são de diferentes tecnologias e incertezas de medição. O padrão utilizado para sua calibração deve ter incerteza inferior a ± 1 mm, a menor dos instrumentos. Lion (1959) descreve os diferentes princípios usados nos instrumentos para medição do nível, que são os seguintes :

- Sistemas de contato : consiste de um ou mais contatos elétricos em níveis apropriados do líquido; um circuito elétrico é fechado quando o líquido chega ao contato;
- Resistência elétrica : a resistência elétrica entre dois fios paralelos colocados num líquido é inversamente proporcional à profundidade de imersão dos mesmos.
- Método indutivo : a indutância de uma bobina é função da profundidade de imersão;
- Capacitância direta : a constante dielétrica de um capacitor formado por dois eletrodos depende do nível do líquido no mesmo;
- Método térmico : a temperatura média de um fio, imerso parcialmente num líquido e num gás, e aquecido por uma corrente constante, varia com a profundidade de imersão, que portanto pode ser medida pela sua resistência;
- Ondas sonoras : o tempo de trânsito entre a emissão e a recepção de uma onda sonora refletida por uma interface líquido-gás, determina a distância percorrida e portanto o nível. ;
- Flutuadores : a distância percorrida por um flutuador até tocar a superfície de um líquido determina o nível do mesma.

Foi observado, entretanto, que os instrumentos disponíveis no mercado tinham o mesmo nível de incerteza do que o dos instrumentos a serem testados. Assim, foi desenvolvido um instrumento considerado padrão, com a tecnologia *laser*, com incertezas bem inferiores a ± 1 mm.

O objetivo deste trabalho é descrever o instrumento desenvolvido, caracterizar metrologicamente o seu desempenho e compará-lo com o de um medidor do tipo capacitivo.

2. DESCRIÇÃO DOS MEDIDORES

As medições de nível referem-se, neste trabalho, às interfaces ar/óleo, água/óleo, e ar/água.

2.1 Medidor de nível do tipo capacitivo (*Medidor capacitivo*)

Inicialmente, procurou-se no mercado nacional um fabricante que fornecesse detetores de nível com as características desejadas. Um sensor capacitivo foi selecionado com as seguintes características, apresentadas por Furini (1998).

- Chave eletrônica de nível : tipo rádio frequência, para operação em serviços especiais, para detecção de nível e interface ;
- Sensor : haste rígida em aço inox 304, para detecção de nível com incerteza de até 2 mm, com proteção tubular em aço inox ASTM 304 ;
- Sinal de 4 a 20 mA, para os dois fluidos ;
- Tipo de montagem no tanque : lateral ;
- Comprimento de imersão : 250 mm ;
- Invólucro de alumínio à prova de tempo.

A Figura 1 apresenta um esquema de colocação do sensor capacitivo na parede lateral da bancada de teste construída para sua calibração e características da medição. Todo o conjunto foi colocado sobre uma mesa nivelada de superfície lisa. Neste tipo de detetor, a capacitância entre o elemento sensor e a proteção do mesmo é função da quantidade de líquido e de ar na região de medição. Assim, só existe variação da capacitância quando o nível do líquido se encontra entre a parte inferior e a parte superior da proteção. A região de maior sensibilidade está em torno do elemento sensor. O medidor tem como saída um sinal de corrente elétrica na

faixa de 4 a 20 mA, proporcional à capacitância e, portanto, função do nível de líquido na região de medição.

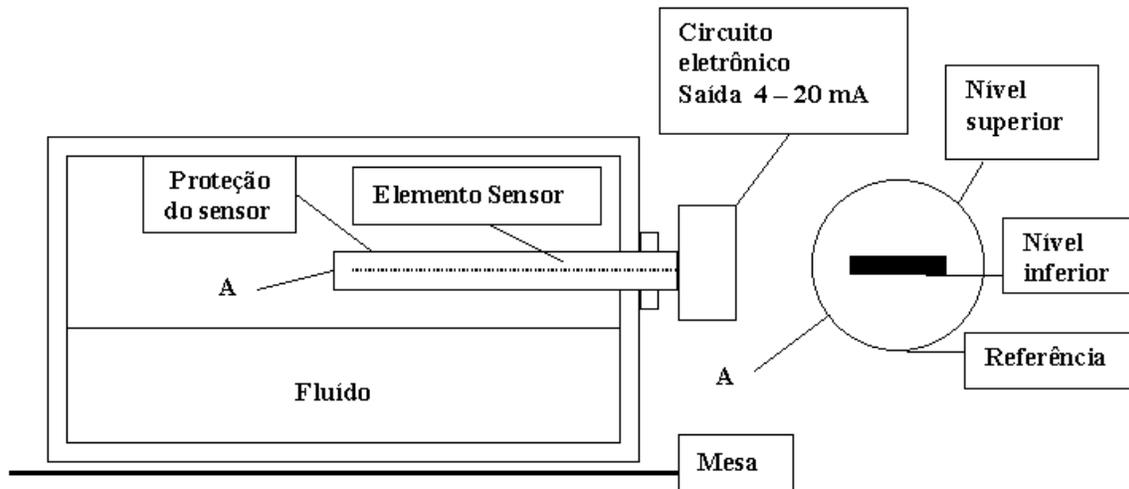


Figura 1 : Esquema da bancada de teste do medidor capacitivo

2.2 Medidor de nível do tipo de refração de feixe luminoso (*Medidor LASER*)

Após a realização de vários testes, verificou-se que os medidores capacitivos não atendiam às exigências relativas às incertezas e estabilidade. A tecnologia envolvida nestes instrumentos é a capacitiva, que apesar dos custos relativamente baixos, apresenta inadequadas características de medição industrial.

Um instrumento de detecção de nível com tecnologia LASER foi desenvolvido, utilizando os seguintes componentes, conforme Furini (1998).

- Módulos emissores : tipo Led - LASER de 5 mW, tensão de operação de 2,7 V, comprimento de onda de 660 ± 10 nm, MTTF 10000 h, temperatura de operação entre - 10 e 60 °C, e lentes reguláveis.

- Detetores : fotodiodos tipo PIN, tensão máxima de operação 32 V, temperatura de operação entre -55 a 80 °C, faixa de sensibilidade espectral de 800 a 1100 nm, tempo de chaveamento máximo de 20 ns.

- Circuito eletrônico : projetado para garantir uma rápida amplificação e transição de estado dos sinais provenientes do fotodiodo, alta estabilidade com tensão de alimentação de 24 V, chave eletrônica com acionamento comandado, temperatura máxima de operação de 50 °C, saída TTL compatível com 5 VDC (apropriado para ligação com o sistema de aquisição de dados).

A Figura 2 apresenta o esquema da bancada de teste construída para a calibração do sistema e características de medição.

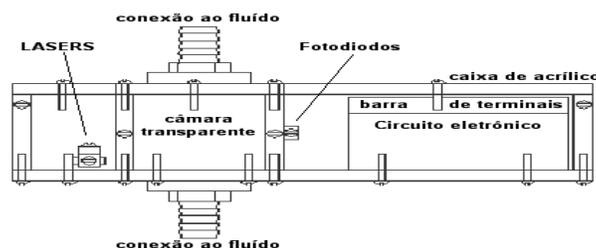


Figura 2 : Esquema da bancada de teste do medidor LASER

Apesar da faixa de sensibilidade do fotodiodo não incluir a faixa de emissão do diodo LASER, durante o desenvolvimento do instrumento foi observado que este tipo de componente se adequava às exigências do tempo de transição e estabilidade.

O princípio de funcionamento consiste na emissão de um feixe luminoso de laser através da região transparente, contendo líquido ou ar, de modo a sensibilizar um fotodiodo colocado em uma região diametralmente oposta ao emissor. A presença de um determinado tipo de fluido na região de emissão, no caso água ou óleo, faz com que o feixe luminoso seja desviado do fotodiodo, provocando, assim, a mudança de estado de saída do circuito eletrônico. Como a diferença entre os sinais é muito grande, a incerteza de sua medição não é importante para a identificação do momento em que a interface entre dois fluidos passa pelo local pré-determinado.

3. TESTES COM O MEDIDOR CAPACITIVO

3.1 Procedimento

O recipiente da Figura 1, uma caixa de acrílico, é preenchido com água até atingir a altura de referência, medida em relação à mesa com um paquímetro, com incerteza estimada em $\pm 0,02$ mm, e resolução de 0,01 mm. A partir deste valor de referência e a cada 0,5 mm de água acrescida ao recipiente, o sinal de saída foi medido com um miliamperímetro, cuja incerteza estimada é de $\pm 0,1$ % do valor lido. Quando a parte superior da proteção do detetor é ultrapassada, a água é retirada do recipiente a cada 0,5 mm, e a corrente elétrica novamente medida, até que a parte inferior da proteção do detetor seja mais uma vez atingida. Os valores das alturas e das respectivas correntes medidas são registradas, tanto para a carga do recipiente, como para descarga.

Este teste é feito com a finalidade de selecionar os pontos críticos em que a repetitividade do instrumento deve ser determinada. Após a análise dos resultados, são escolhidas de 5 a 11 posições, para carga e descarga, onde é determinada a repetitividade do instrumento. O recipiente é, então, preenchido com fluido (carga) e, nos pontos escolhidos são medidas as respectivas alturas e correntes elétricas. O mesmo procedimento é realizado ao se retirar o fluido do recipiente (descarga). Cinco ciclos são feitos para a determinação da repetitividade.

Para avaliar a resposta do medidor com diferentes interfaces e, ao mesmo tempo, obter uma curva contínua do seu comportamento, foi preparado um teste, de forma que a corrente de saída fosse registrada através de um programa de aquisição de dados, durante o tempo necessário para a água percorrer verticalmente toda a altura da proteção do sensor. A velocidade de carga e descarga do recipiente foi de aproximadamente 20 mm/s.

3.2 Identificação das faixas de operação do medidor capacitivo

A resposta do medidor para diferentes interfaces é mostrada pela curva contínua na Figura 3, com dados obtidos por um sistema de aquisição de dados. Nela é apresentado o valor da corrente elétrica do instrumento como função dos pontos medidos sequencialmente pelo sistema. Estes podem se relacionar com a altura (em mm) a partir da taxa de amostragem do sistema de aquisição de dados e da velocidade de carga ou descarga. Entretanto, o objetivo da Figura 3 é identificar as interfaces correspondentes às diferentes faixas de resposta durante o teste e quantificar o sinal do sensor.

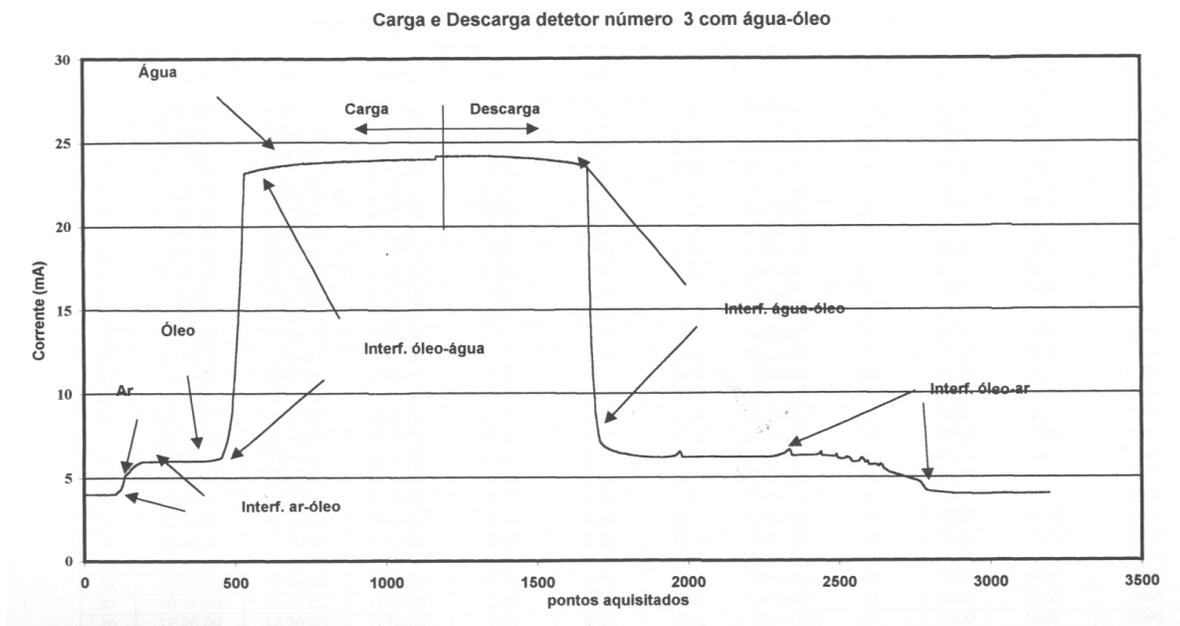


Figura 3 : Resposta do medidor capacitivo em diferentes interfaces

Pode-se observar que o medidor capacitivo desempenha-se muito bem para a interface água/ar. Entretanto, para a interface óleo/ar, a resposta não tem boa resolução, pois a diferença de sinal ao longo da mesma é pequena.

3.3 Testes de repetitividade do medidor capacitivo

A Tabela 2 apresenta os resultados dos testes de repetitividade do medidor capacitivo, com interface água/ar. As incertezas foram determinadas segundo o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (1998).

Pode-se observar que a repetitividade (estimada medindo-se 5 vezes o mesmo ponto) é maior do que a incerteza de medição da corrente elétrica ($\pm 0,1\%$ do valor lido), indicando que a incerteza da localização da interface tem uma contribuição importante na estimativa da incerteza global de medição. Outro aspecto a ser mencionado é que como a variação do sinal indicado pelo instrumento de medição, ao detectar a passagem da interface água/ar, é muito maior do que a repetitividade das medições, esta última tem um peso pequeno na qualificação do processo metrológico em questão, resultando numa incerteza menor do que de $\pm 0,5$ mm. Isto pode ser explicado pelo fato de que o meio dielétrico apresenta uma capacitância bem maior para a água do que para o ar. O mesmo não acontece com as interfaces óleo/ar e óleo/água. Este procedimento foi empregado para as outras interfaces, sendo apresentado mais adiante.

3.4 Desempenho do medidor capacitivo .

Na Tabela 3, o termo atuação refere-se ao deslocamento vertical mínimo da interface necessário para que a variação do valor da corrente elétrica, indicado pelo instrumento, seja suficientemente grande, de modo a caracterizar a presença da interface na região do sensor. Fora desta região, a variação do sinal indicado pelo instrumento não é significativo.

Pode-se, portanto, concluir que o medidor capacitivo consegue detectar a passagem da interface água/ar por um dado local, dentro da faixa de incerteza especificada de $\pm 0,50$ mm. A atuação do medidor para as interfaces água/óleo e óleo/ar é superior a este valor, desqualificando-o para a aplicação.

Assim, um medidor específico teve de ser desenvolvido para a aplicação.

Tabela 2 : Testes de repetitividade do medidor capacitivo, água/ar.

| Nível (mm) | Corrente (mA) | | Nível (mm) | Corrente (mA) |
|------------|------------------|------------------|------------|------------------|
| | Carga | Descarga | | |
| 109,00 | | $6,04 \pm 0,03$ | 113,00 | $23,80 \pm 0,00$ |
| 109,50 | | $6,36 \pm 0,03$ | 113,50 | $23,90 \pm 0,00$ |
| 110,00 | | $7,38 \pm 0,02$ | 117,00 | $24,20 \pm 0,00$ |
| 110,50 | | $23,28 \pm 0,36$ | 117,50 | $24,26 \pm 0,15$ |
| 111,00 | $7,75 \pm 0,37$ | $2,75 \pm 0,02$ | 118,00 | $24,30 \pm 0,00$ |
| 111,50 | $8,03 \pm 0,30$ | $2,90 \pm 0,02$ | 118,50 | $3,30 \pm 0,02$ |
| 112,00 | $8,57 \pm 0,68$ | | 119,00 | $3,38 \pm 0,05$ |
| 112,50 | $23,62 \pm 0,30$ | | 119,50 | $3,41 \pm 0,03$ |

Tabela 3 : Desempenho do medidor capacitivo.

| Interface | Atuação (mm) | | Incerteza (mm) | | Repetitividade (mm) | |
|-----------|--------------|----------|----------------|------------|---------------------|-------------|
| | Carga | Descarga | Carga | Descarga | Carga | Descarga |
| Água/ar | 0,50 | 0,50 | $\pm 0,10$ | $\pm 0,10$ | $\pm 0,50$ | $\pm 0,50$ |
| Água/Óleo | 1,50 | 0,50 | $\pm 0,10$ | $\pm 0,10$ | $\pm 1,50$ | $\pm 0,50$ |
| Óleo/ar | 13,00 | 12,00 | $\pm 0,10$ | $\pm 0,10$ | $\pm 13,00$ | $\pm 12,00$ |

4. TESTES COM O MEDIDOR LASER

4.1 Procedimento

A calibração do medidor LASER, foi realizada conforme esquema mostrado na Figura 4. O medidor foi colocado numa bancada nivelada, com as conexões de entrada e de saída fechadas através de dois acessórios. Uma altura de referência de 5 mm de água foi inicialmente colocada na câmara transparente, para que as sucessivas medições não apresentassem erros sistemáticos provenientes do fundo da câmara. O instrumento utilizado para a medição do nível foi um paquímetro digital TESA DIGIT, com resolução de 0,01 mm e incerteza de medição de $\pm 0,02$ mm. A cada 5 mm, o deslocamento vertical da interface foi medido pelo paquímetro, e, ao mesmo tempo, a massa de água acrescentada durante a carga era determinada com uma balança OHAUSS PRECISION, capacidade máxima de 400 g, resolução e incerteza de $\pm 0,01$ g. Este processo continuou até que a posição da interface atingisse uma altura de 70 mm em relação ao fundo da câmara, ou 65 mm em relação à referência, perfazendo um total de 13 pontos. O processo de descarga foi realizado retirando-se a água com um conta gotas, perfazendo também um total de 13 pontos. Para determinadas posições da interface, sua altura em relação ao fundo e os lados da seção transversal foram medidos com um micrômetro HELIOS, menor divisão de 0,01 mm, incerteza de $\pm 0,005$ mm, faixa de medição de 0 a 25 mm. Um relógio comparador MITUTOYO foi também utilizado para a faixa de 0,01 mm a 100 mm, incerteza de $\pm 0,005$ mm.

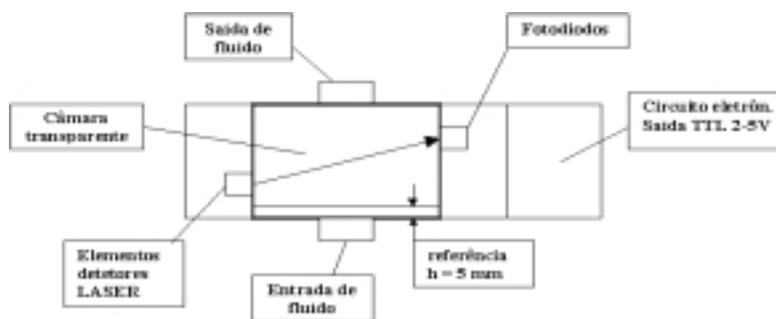


Figura 4 : Detalhes do medidor LASER.

Para a identificação da passagem por um determinado local de duas interfaces, óleo/ar e água/óleo, e faixa de atuação do instrumento, foram instalados dois conjuntos Led-LASER /Fotodiodos, um dos quais ilustrado na Figura 4. Um osciloscópio foi ligado à saída do circuito eletrônico, para determinar o início da transição de estado TTL à medida que a água era acrescentada na câmara transparente. Foram especificados valores TTL de 2 V e 5 V, respectivamente para os níveis baixo e alto. A água foi acrescentada na câmara transparente até que o sensor iniciasse o processo de transição, verificado através do sinal de tensão continua dos dois níveis bem distintos na tela do osciloscópio. A massa d'água foi, então, medida com a balança. O processo continuou até que não houvesse mais variação do sinal, definindo a faixa de atuação do instrumento. A descarga foi realizada, retirando-se a água com um conta gotas e medindo-se a massa d'água da mesma forma. Este ciclo completo foi medido 5 vezes para a determinação da repetitividade.

4.2 Testes de repetitividade com o medidor LASER

A Tabela 4 apresenta os testes de repetitividade para o medidor LASER. Pode-se observar que a diferença entre a carga e a descarga é menor do que a repetitividade.

Tabela 4 : Testes de repetitividade do medidor LASER, água/ar.

| Nível (mm) | Massa d'água (g) | |
|------------|------------------|---------------|
| | Carga | Descarga |
| 5,00 | 0,00 ± 0,00 | -0,30 ± 1,00 |
| 10,00 | 23,64 ± 2,24 | 24,23 ± 0,90 |
| 15,00 | 49,07 ± 2,75 | 48,87 ± 1,79 |
| 20,00 | 74,16 ± 1,33 | 73,64 ± 1,67 |
| 25,00 | 98,38 ± 2,75 | 98,17 ± 2,59 |
| 30,00 | 121,99 ± 0,40 | 121,82 ± 1,34 |
| 35,00 | 146,41 ± 1,11 | 146,35 ± 1,12 |
| 40,00 | 171,40 ± 1,49 | 170,95 ± 1,59 |
| 45,00 | 195,07 ± 0,98 | 195,17 ± 1,65 |
| 50,00 | 219,44 ± 1,13 | 219,47 ± 1,11 |
| 55,00 | 244,43 ± 1,10 | 243,97 ± 2,45 |
| 60,00 | 269,26 ± 0,91 | 268,98 ± 1,40 |
| 65,00 | 293,45 ± 1,94 | 293,49 ± 3,35 |
| 70,00 | 317,13 ± 1,51 | 317,13 ± 1,51 |

Pela Tabela 5, a área da seção transversal ao longo da altura, é $A = 48,62 \pm 0,11 \text{ cm}^2$. Para uma massa específica da água de 1 g/cm^3 , e uma incerteza média de 1,54 g na localização da interface, Tabela 4, isto corresponde a 0,32 mm. O medidor LASER se mostrou capaz de detectar a passagem da interface com uma resolução bem menor do que este valor.

Tabela 5 : Lados da seção transversal da bancada de teste

| Altura (mm) | L1 (mm) | L2(mm) |
|-------------|------------------|------------------|
| 14,50 | 69,49 | 69,88 |
| 19,35 | 69,49 | 69,87 |
| 24,01 | 69,50 | 69,87 |
| 28,80 | 69,51 | 69,87 |
| 33,62 | 69,52 | 69,87 |
| 38,40 | 69,54 | 69,88 |
| 43,15 | 69,57 | 69,88 |
| 48,03 | 69,60 | 69,88 |
| 52,99 | 69,63 | 69,88 |
| 57,75 | 69,67 | 69,88 |
| 62,66 | 69,70 | 69,87 |
| média | $69,57 \pm 0,15$ | $69,88 \pm 0,01$ |

4.3 Desempenho do medidor LASER

Os resultados das medições estão apresentados na Tabela 6. As incertezas foram estimadas segundo o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (1998).

Tabela 6 : Desempenho do medidor LASER.

| Interface | Atuação (mm) | | Incerteza (mm) | | Repetitividade (mm) | |
|-----------|--------------|----------|----------------|-------------|---------------------|-------------|
| | Carga | Descarga | Carga | Descarga | Carga | Descarga |
| Água/ar | 0,03 | 0,05 | $\pm 0,003$ | $\pm 0,003$ | $\pm 0,06$ | $\pm 0,06$ |
| Água/Óleo | 0,007 | 0,013 | $\pm 0,003$ | $\pm 0,003$ | $\pm 0,001$ | $\pm 0,015$ |
| Óleo/ar | 0,004 | 0,008 | $\pm 0,003$ | $\pm 0,003$ | $\pm 0,006$ | $\pm 0,008$ |

Uma análise da Tabela 6 mostra que a repetitividade do medidor LASER e sua capacidade de detecção da passagem da interface é bem superior à do medidor capacitivo. Comparando-se a repetitividade com a incerteza da massa d'água medida, chega-se a conclusão que se métodos mais exatos puderem ser usados para a localização do nível da interface, as incertezas poderão ser bem menores do que $\pm 0,32 \text{ mm}$, uma vez que a faixa de atuação do medidor é muito pequena. Este valor é considerado aceitável para as finalidades de padrão a que se destina, para medição da passagem da interface por um dado nível.

5. CONCLUSÕES

Um medidor de nível do tipo de refração do feixe luminoso (medidor LASER) foi desenvolvido apresentando uma repetitividade melhor do que $\pm 0,1$ mm, bem superior à de um medidor do tipo capacitivo. A análise de sua repetitividade e incerteza, mostra que a incerteza de medição da localização do nível da interface é responsável pela diferença encontrada entre os dois parâmetros. Assim, se puderem ser usados métodos mais exatos para medição deste nível durante a calibração, pode-se conseguir incertezas bem menores do que $\pm 0,32$ mm, uma vez que a repetitividade e a atuação são bem pequenas (menores do que $\pm 0,1$ mm).

Agradecimentos

Os autores agradecem a participação da PETROBRÁS e do Programa de Mestrado em Metrologia para a Qualidade Industrial por terem viabilizado este desenvolvimento, respectivamente, através de um projeto e de uma tese de Mestrado. Agradecem também a contribuição de EVÊMERO CALLEGARI no desenvolvimento e aquisição de dados.

REFERÊNCIAS

- Furini, R., 1998, Confiabilidade de Instrumentos de Medição Utilizados na Indústria do Petróleo : Uma Abordagem Metrológica, Tese de Mestrado, PUC-Rio.
Guia para Expressão da Incerteza de Medição, 1998, 2ª Edição, INMETRO.
Kececioglu, D, 1993, Reliability and Life Testing Handbook, vol.1 and vol.2, PTR Prentice Hall, New Jersey, USA.
Lion, K., 1959, Instrumentation in Scientific Research : Electrical Input Transducers, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, USA.
O'Connor, P.D.T., 1985, Practical Reliability Engineering, 2nd Edition, Wiley Interscience, USA.
Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, 1995, INMETRO

Abstract

The accurate measurement of a liquid level of petroleum products in large storage tanks is important for preventing large money loss or profit due to small errors in the instrument. The available instruments for this application have an estimated uncertainty of at least ± 1 mm. Its calibration requires a highly accurate measurement standard. A laser beam instrument, based on the refraction of a highly collimated beam at a liquid/liquid or liquid/gas interface was developed with a repeatability better than $\pm 0,1$ mm. This paper describes the system and the tests conducted for its qualification. The measured interfaces were include water-air, water-oil and air-oil. Also, measurements and comparison with the performance of a capacitive transducer were carried on, in order to demonstrate that the laser instrument has a superior performance and can be used as a measurement standard.

Key-words : *Liquid level, level transducer, storage tank*