

## Medidores de capacidade volumétrica de veículos-tanque

S Dias<sup>1</sup>, I T Chacon<sup>2</sup> e A Soratto<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Metrologia de Santa Catarina - Imetro-SC, São José, 88.600-110, Brasil

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro, Duque de Caxias, 25250-020, Brasil

silviodias@imetro.sc.gov.br

**Resumo.** O medidor de vazão é o principal responsável pela confiança das medições que suportam a certificação da capacidade volumétrica dos veículos-tanque no Brasil. Por meio de visitas técnicas a postos de verificação de veículos-tanque rodoviários e de entrevistas com especialistas, esta pesquisa explorou as características de três tipos de medidores de vazão: de turbina, de deslocamento positivo e eletromagnético. Os resultados sugerem que o medidor do tipo deslocamento positivo tem sido o mais adequado para este serviço. O trabalho propõe a elaboração de um projeto básico conceitual para orientar a implantação ou reforma de postos de verificação de veículos-tanque no Brasil.

**Abstract.** The flow meter is primarily responsible for the reliability of the measurements that support the certification of the volumetric capacity of tankers in Brazil. Through technical visits to road tanker checkpoints and interviews with experts, this research explored the characteristics of three types of flow meters: turbine, positive displacement and electromagnetic. The results showed that the positive displacement meter has been shown to be the most suitable for this service. The paper suggests the elaboration of a basic conceptual project to guide the implementation or reform of tank vehicle checkpoints in Brazil.

### 1. Introdução

A crescente frota brasileira de automóveis, caminhões, ônibus e motocicletas alcançou o total de 89.917.247 veículos no ano de 2022, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [1]. Para mover essa frota, é necessária uma rede de distribuição que leve os combustíveis líquidos das refinarias até os distribuidores, e destes até os postos de abastecimento, onde os consumidores finais terão acesso aos produtos.

O transporte envolvido nestas relações comerciais de combustíveis demanda o uso de dezenas de milhares de veículos-tanques, caminhões e vagões, cuja capacidade volumétrica deve ser verificada periodicamente por algum órgão integrante da Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade – Inmetro (RBMLQ-I).

Esta verificação deve ser realizada a cada dois anos e ocorre mediante a aprovação em ensaio de determinação da capacidade volumétrica do tanque do veículo.

Com a crescente demanda pela verificação de veículos-tanque, a RBMLQ-I, que é o braço executivo do Inmetro em todo o território nacional, percebeu a necessidade de ampliar a oferta deste serviço, para equilibrar a relação entre oferta e demanda. Desta forma, nos últimos dois anos, muitos órgãos

integrantes da RBMLQ-I iniciaram o planejamento para a construção de novos Postos de Verificação de Veículos-Tanque Rodoviários (VTR).

A primeira grande dificuldade encontrada por estas iniciativas, tem sido a falta de um modelo ou projeto padrão moderno, que considere as novas tecnologias de medição de volume e as atuais características dos veículos-tanque.

Um dos pontos mais críticos e importantes na implantação de um Posto de VTR é a definição do sistema de medição a ser utilizado. O sistema de medição é um dos principais elementos da estrutura de verificação da capacidade volumétrica de um tanque e deve, portanto, receber a devida atenção na fase de projeto de um novo posto.

Diante do exposto, o presente apresenta um breve estudo de três tipos de medidores de vazão utilizados em sistemas de medição volumétrica em postos de VTR: medidores do tipo turbina, medidores de deslocamento positivo e medidores eletromagnéticos. Aborda as principais características, vantagens e desvantagens de cada tipo e fornece um conjunto de informações que podem servir de suporte aos projetos de implantação de postos de verificação da capacidade volumétrica de veículos-tanque no Brasil.

## **2. A busca por experiências**

O aprendizado com experiências bem sucedidas é algo que deveria fazer parte de todo novo projeto. Muitos empreendimentos são impactados de forma negativa por conta da falta de especificações, informações e detalhamentos, ou por seguirem metodologias incompatíveis com a finalidade e características da obra. Uma obra sem projeto básico adequado poderá ocasionar expressivo número de serviços a serem refeitos além de novos serviços antes não previstos com preços elevados e prejuízo ao erário. [2].

Após a pandemia, o Instituto de Metrologia de Santa Catarina (Imetro-SC), órgão delegado do Inmetro, iniciou estudos para a implementação de dois grandes projetos: a reconstrução total de seu único Posto de VTR localizado no município de Itajaí e a implantação de um novo Posto em Chapecó, para atender a Região Oeste do estado.

Convém registrar que o Imetro-SC possuía pouca experiência com medidores de vazão, pois em seu único Posto de VTR (Itajaí), o sistema de verificação da capacidade volumétrica dos tanques utilizava o antigo método de comparação com medidas materializadas de volume, sem medição de vazão.

Na fase dos projetos, o Imetro-SC optou por buscar informações com os Institutos de Pesos e Medidas dos Estados do Paraná (Ipem/PR) e de São Paulo (Ipem/SP), e também com um grande fabricante de tanques rodoviários de Santa Catarina. Os critérios para a seleção destes dois Órgãos Delegados do Inmetro foram a larga experiência com o uso de medidores de vazão e a proximidade com Santa Catarina.

No Paraná, foram selecionados os postos de Maringá, Cascavel e Araucária e, em São Paulo, o posto selecionado foi o de Paulínia. Foram realizadas visitas técnicas e entrevistas com especialistas com o objetivo de coletar informações sobre os tipos de medidores volumétricos utilizados, confiabilidade das medições, potência e vazão das motobombas, capacidade dos reservatórios de água, tratamento da água utilizada no processo e manutenção dos equipamentos.

Na próxima seção são apresentadas algumas informações obtidas nas visitas e entrevistas, em especial sobre os tipos de medidores de vazão, que podem servir de orientação para a implantação de novos postos de VTR no Brasil.

## **3. Os sistemas de medição de vazão investigados**

Levando em consideração os aspectos metrológicos, o ponto mais relevante na elaboração do projeto é a escolha do sistema de medição de volume. Está ligado a ele todos os aspectos que são relevantes para uma verificação metrológica efetiva e que garanta a confiabilidade dos ensaios.

Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia, a repetibilidade de medição representa o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando, realizadas sob

as mesmas condições de medição [3]. Ela é uma medida de precisão que revela a diferença absoluta entre os diversos resultados de medições repetidas.

Outro item importante a ser observado é o erro de linearidade, que nada mais é do que o desvio máximo entre a curva real de resposta do sistema e a equação de transferência (reta teórica) [4].

Estas duas características, repetibilidade e linearidade, são de extrema relevância no momento de escolher o sistema de medição a ser adotado. A primeira garante que após várias medições serão obtidos resultados muito próximos uns dos outros. A segunda aponta que, independente da quantidade de água a ser medida, os erros de medição se apresentarão de forma linear.

### 3.1 Medidor de vazão do tipo turbina

Os medidores de vazão do tipo turbina são compostos por um rotor de alta precisão, que gira em um eixo montado concentricamente no interior de um trecho de tubo flangeado. Ao atravessar o tubo, o fluido a ser medido gera uma rotação ao rotor que passa a girar a uma velocidade angular proporcional à vazão (Figura 1). As palhetas do rotor, ao atravessar o campo de um sensor magnético inserido no corpo da turbina, geram uma voltagem pulsada na bobina do sensor magnético. Cada pulso gerado representa um volume pequeno, no entanto, o número total de pulsos gerados em determinado período de tempo representa o volume total medido pela turbina [5].



**Figura 1.** Exemplo de medidor de vazão do tipo turbina.

Durante os primeiros estudos realizados, cogitou-se a possibilidade de adotar o sistema de medição do tipo turbina como padrão para os novos postos de verificação de veículos-tanque.

Este tipo de equipamento é largamente utilizado nas bases de abastecimento das distribuidoras de combustíveis. Segundo o fabricante, dentre as vantagens oferecidas por este sistema estão a agilidade na operação, a possibilidade de automação do processo e o alto índice de confiabilidade nas medições.

Outro ponto favorável ao sistema do tipo turbina é o custo. O valor deste conjunto de medição pode ser até 65% menor, se comparado ao valor de um sistema do tipo deslocamento positivo (medidor mecânico).

As informações técnicas deste medidor para medição de combustível apontavam valores de linearidade e repetibilidade aceitáveis para os serviços de verificação metrológica e, segundo os fabricantes, o mesmo poderia operar utilizando água, que é o líquido utilizado pelos postos de VTR no Brasil.

No entanto, tentativas do Ipem/PR em usar este tipo de medidor acabaram frustradas. Uma delas foi no posto de verificação de tanques de Cascavel, em que o medidor de vazão escolhido foi o do tipo turbina.

De acordo com relatos dos servidores técnicos envolvidos no processo de montagem dos medidores, problemas como falta de repetibilidade, erros de medição acima da tolerância e constantes paradas para manutenção levaram ao abandono deste sistema.

Atualmente, o posto de Cascavel utiliza medidores volumétricos de deslocamento positivo.

Outra tentativa do Ipem/PR em usar o medidor volumétrico tipo turbina foi durante os estudos para a implantação do recém inaugurado posto de verificação de veículos-tanque de Araucária.

Uma empresa que fabrica este sistema de medição colocou à disposição uma equipe de técnicos e desenvolvedores para garantir o funcionamento dos equipamentos de acordo com os requisitos metrológicos do Inmetro.

Após meses de testes e tentativas sem sucesso, a possibilidade de utilização dos medidores do tipo turbina foi eliminada.

Mesmo com todo o apoio técnico e após inúmeros testes, chegou-se à conclusão que este tipo de equipamento, projetado para medir o volume de combustíveis, não é o ideal para as verificações metrológicas de veículos-tanques, que utilizam a água como fluido para as medições.

### 3.2 Medidor de vazão do tipo deslocamento positivo

Os medidores volumétricos do tipo deslocamento positivo são instrumentos cujo funcionamento baseia-se no princípio do deslocamento repetitivo de determinado volume de líquido. Conseguem-se isso prendendo quantidades de fluido entre componentes rotativos encapsulados dentro de um compartimento de alta precisão. Isso pode ser comparado a preencher repetidamente um béquer com fluido e verter o conteúdo na direção do fluxo enquanto se conta o número de vezes em que o béquer é preenchido. A velocidade rotativa do rotor é diretamente proporcional à taxa de vazão, uma vez que a vazão de fluido é a causa da rotação.

Uma das principais vantagens de usar um medidor de vazão por deslocamento positivo é o alto nível de exatidão que ele oferece. A alta precisão dos componentes internos significa que as falhas nas vedações entre as faces são mínimas. Quanto menores essas falhas forem, maior será a exatidão. Somente o fluido que se desvia da vedação não é contado, isso é conhecido como desvio ou deslizamento. Este tipo de equipamento consegue alcançar bons níveis de repetibilidade e linearidade e nem o regime de escoamento e nem a alteração na viscosidade afeta de forma significativa as medições [6].

Este tipo de medidor é comercializado na forma de grupo de medição, ou seja, é vendido o conjunto composto por filtro, eliminador de ar, válvulas de controle e bloco medidor com pré-determinador (Figura 2).



**Figura 2.** Exemplo de medidor de vazão do tipo deslocamento positivo.

Por ser um conjunto onde todos os elementos são entregues montados em um único grupo, a instalação se torna mais simples, o que evita a necessidade de contratação de mão-de-obra altamente especializada para o funcionamento do sistema de medição.

A manutenção deste equipamento não é complexa, sua operação é simples e ele oferece uma boa produtividade, tendo em vista que possui uma vazão média de 80 m<sup>3</sup>/h.

Dada as suas vantagens, este modelo de medidor de vazão tem sido adotado por vários postos de VTR no Brasil, como constatado nos postos visitados em Cascavel, Maringá, Araucária e Paulínia.

No entanto, é um equipamento caro, quando comparado às demais opções.

### 3.3 Medidor de vazão do tipo eletromagnético

O princípio da medição eletromagnética baseia-se na lei de Faraday da indução eletromagnética, na qual uma força eletromotriz é gerada em proporção à velocidade do fluxo quando um fluido condutor atravessa um campo magnético [7].

O medidor de vazão eletromagnético não tem queda de pressão e pode medir uma grande variedade de líquidos. Ele é composto de um transmissor e um sensor que juntos medem a vazão (Figura 3). O sensor do medidor de vazão magnética é colocado em linha e mede uma tensão induzida gerada pelo fluido conforme ele flui pelo tubo. O transmissor captura a tensão gerada pelo sensor, converte em uma medição da vazão e transmite essa medição da vazão para um sistema de controle.



**Figura 3.** Exemplo de medidor de vazão eletromagnético.

O funcionamento deste tipo de medidor demanda alto grau de automação. É necessário todo um ecossistema de equipamentos como um painel elétrico com controlador lógico programável, monitor de interface homem máquina (IHM), relés e solenóides para acionamento de válvulas, contadores e inversores de frequência para controle das bombas e um software para operação deste sistema.

Outro ponto relevante é que o sensor eletromagnético demanda um fluxo linear de água, com baixo índice de turbulência do fluido e uma inclinação que mantenha a tubulação sempre cheia.

A montagem, o comissionamento e a manutenção deste sistema somente é viável com o apoio de um corpo técnico altamente especializado, o que torna o custo de operação mais elevado. Por envolver um grande número de variáveis, para se alcançar inicialmente os níveis esperados de precisão, repetibilidade e linearidade, é primordial realizar uma série de ajustes, o que impacta no aumento do custo de instalação.

Este tipo de medidor de vazão foi adotado por um grande fabricante de tanques rodoviários de Santa Catarina, que se tornou auto-verificador autorizado pelo Inmetro. Podendo escolher o tipo de medidor que mais lhe conviesse, a empresa optou pelo medidor eletromagnético com o objetivo de dar maior agilidade ao serviço de verificação volumétrica inicial de seus tanques recém fabricados.

Toda a estrutura foi implementada por uma empresa de automação com larga experiência neste tipo de atividade, o que conduziu ao final do processo a um sistema com índices de precisão, repetibilidade e linearidade acima dos exigidos para a verificação de tanques.

### 3.4 Comparativo dos medidores de vazão

As visitas aos Postos de VTR no Paraná, em São Paulo e em Santa Catarina, bem como as entrevistas com os técnicos especialistas de cada posto, trouxeram experiências que permitem tomar melhores decisões na fase de projeto de implantação de um posto VTR.

O Quadro 1 consolida as principais informações obtidas nesta pesquisa, e apresenta um comparativo dos três tipos de medidores de vazão investigados, considerando quatro importantes atributos: precisão e repetibilidade; custo de aquisição; custo de instalação e complexidade de manutenção.

O medidor de vazão do tipo turbina apresentou o menor custo de aquisição, no entanto teve baixa precisão e repetibilidade, além de apresentar alto custo de instalação e complexidade de manutenção.

O medidor do tipo eletromagnético, quando bem instalado, apresentou alta precisão e repetibilidade. No entanto, apesar de não ser o mais caro dos modelos analisados, tem o maior custo de instalação e a maior complexidade de manutenção.

**Quadro 1.** Comparativo entre os medidores de volume analisados.

	<b>Medidor Tipo Turbina</b>	<b>Medidor Tipo Deslocamento Positivo</b>	<b>Medidor Tipo Eletromagnético</b>
<b>Custo de Aquisição</b>	Baixo	Alto	Alto
<b>Custo de Instalação</b>	Alto	Baixo	Alto
<b>Complexidade de Manutenção</b>	Alta	Baixa	Alta
<b>Precisão e Repetibilidade</b>	Baixa	Alta	Alta

Por fim, o medidor de vazão de deslocamento positivo apresentou bons resultados nesta análise, com exceção do quesito custo de aquisição, pois é o medidor mais caro dos três. Os vários medidores deste tipo instalados nos postos visitados vêm apresentando boa precisão e repetibilidade, além de baixo custo de instalação e baixa complexidade de manutenção.

#### 4. A instalação do Posto de VTR em Chapecó/SC

Inaugurado no segundo semestre de 2023, o Posto de VTR do Imetro-SC em Chapecó não teve um processo de instalação dos mais céleres e certos.

Os primeiros estudos apontavam para o uso do medidor tipo turbina, no entanto, a experiência do Ipem/PR, mostrou certa incompatibilidade e dificuldade de alcançar os níveis de precisão e repetibilidade exigidos pelo Inmetro.

Na sequência, optou-se pela utilização de medidores de vazão eletromagnéticos. Os técnicos envolvidos na instalação do sistema não dispunham de experiência na instalação de equipamentos com tamanha precisão. Foram realizadas várias tentativas de ajuste para se alcançar os níveis de repetibilidade esperados, porém esta iniciativa não obteve resultados satisfatórios.

Após as visitas técnicas aos postos de VTR do Ipem/PR, Ipem/SP e de Santa Catarina, decidiu-se então que a opção mais viável seria o uso de medidor volumétrico de deslocamento positivo. O modelo instalado foi de 3", com Vazão Máxima de 80m<sup>3</sup>/h, Linearidade de 0.15% e Repetibilidade de 0.01%.

Os resultados da série amostral de 25 testes realizados para verificar os níveis de precisão, repetibilidade e linearidade exigidos para os serviços de verificação metrológica mostraram-se bem positivos.

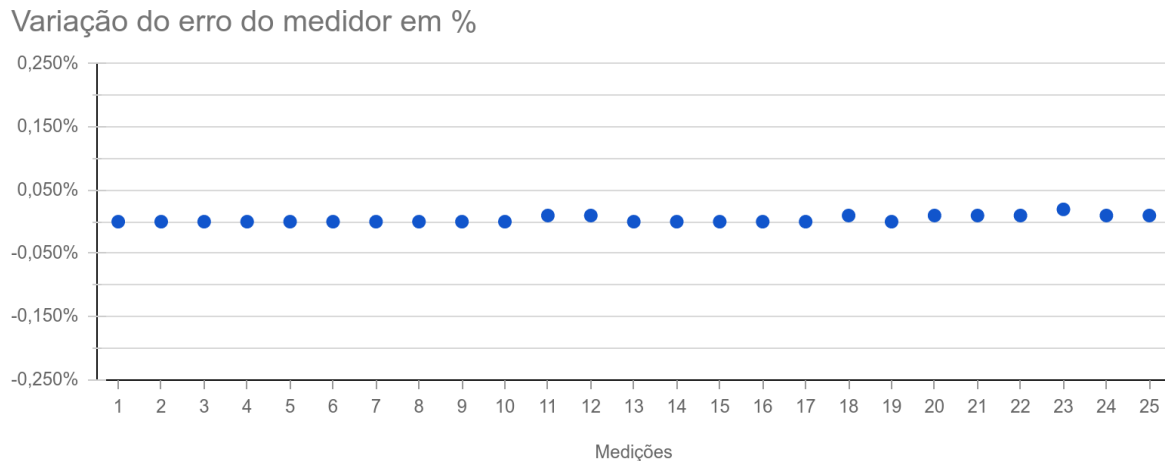
O Quadro 2 apresenta os indicadores relacionados aos índices de precisão e repetibilidade. O erro médio encontrado foi de -0.0039%.

**Quadro 2.** Indicadores de precisão e repetibilidade do medidor do Posto VTR de Chapecó/SC.

<b>Variação (%)</b>	<b>Média Erro (em litros)</b>	<b>Média Erro (%)</b>	<b>Desvio Padrão (em litros)</b>	<b>Repetibilidade (%)</b>
0.0133	0.0800	-0.0039	0.1155	0.0056

O Gráfico 1 de Dispersão mostra que todos os resultados dos 25 ensaios estão dentro da faixa de erro que assegura a precisão e exatidão de forma simultânea. Apenas oito medições apresentaram erro, sendo

sete delas com erro de + 200 ml e uma com erro de + 400 ml, o que representa em termos percentuais, respectivamente, erros de + 0.010% e + 0.019%, bem abaixo do erro máximo admissível ( $\pm 0.25\%$ ).



**Gráfico 1.** Dispersão das medições do medidor do Posto VTR de Chapecó/SC.

Os resultados mostraram que o medidor de vazão de deslocamento positivo escolhido pelo Imetro-SC para o Posto VTR de Chapecó cumpriu com folga a margem de erro máximo admissível de 0,25%, estabelecido pelo Regulamento Técnico Metrológico do Inmetro para uso destes equipamentos na medição da capacidade volumétrica de veículos-tanque rodoviários no Brasil [8].

## 5. Considerações finais

Os projetos de implantação de novos postos de verificação de veículos-tanque devem atentar para o sistema de medição da vazão a ser utilizado, dada a importância deste elemento para a confiabilidade e qualidade dos serviços de certificação da capacidade volumétrica dos tanques.

Esta pesquisa apontou que os medidores eletromagnéticos e de deslocamento positivo, quando instalados e ajustados de forma correta, são adequados para as medições de vazão que utilizam água, como é o caso das verificações realizadas pelos Órgãos da RBMLQ-I.

Na implantação do novo posto de verificação de veículo-tanque rodoviário de Chapecó/SC, o Instituto de Metrologia de Santa Catarina utilizou o medidor de vazão, do tipo deslocamento positivo. Apesar de não ter o menor custo de aquisição, este tipo de medidor apresentou bons resultados em termos de precisão e repetibilidade, atendendo com folga as exigências do Inmetro, além de ter baixo custo de instalação e de manutenção.

Um ponto importante de se considerar é que a falta de uma referência básica com especificações técnicas atualizadas, acarretou custos adicionais e atrasos nos processos de implantação de novos postos de VTR, conforme vivenciado pelo Ipem/PR e pelo Imetro-SC.

É sabido que cada novo posto terá características próprias, como dimensões do terreno, quantidade de medidores, fluxo de veículos e espaço útil para os equipamentos. No entanto, existindo uma referência, todo o projeto de implantação teria um ponto de partida comum, cabendo apenas adequações de acordo com a necessidade de cada estrutura.

Como trabalho futuro, sugere-se a formação de um grupo de trabalho para a elaboração de um projeto conceitual básico, com um conjunto de orientações e especificações, para servir de referência na implantação ou reforma de postos de VTR. Este projeto poderia suportar tomadas de decisões como, por exemplo, na escolha do sistema de medição adequado, no dimensionamento de bombas e dos reservatórios, bem como no tratamento adequado da água utilizada no processo, dentre muitas outras possibilidades.

A aplicação dos princípios de gestão de projetos é um tópico relevante que pode ser explorado em estudos posteriores, pois fomentaria a produção de documentos de referência ao longo da execução dos projetos.

### **Referências**

- [1] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional Frota de Veículos, 2022. URL: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120>
- [2] Comissão de Controle Administrativo e Financeiro 2023 Projeto Básico CNMP
- [3] JCGM 200:2012 2012 International Vocabulary of Metrology – basic and general concepts and associated terms, 3rd edition (Paris: Joint Committee for Guides in Metrology)
- [4] Lopes W N 2009 Instrumentos de Medição e Controle São Carlos EESC-USP p35
- [5] Metroval 2023 Medidor de Vazão Tipo Turbina MTF
- [6] Omega 2023 Medidor de Vazão por Deslocamento Positivo OMEGA
- [7] Silva J C 2017 Aula 8 Medidores Mássicos e Magnéticos São Carlos EESC-USP p2
- [8] Inmetro Portaria Inmetro nº 49/2022 Aprova o Regulamento Técnico Metrológico consolidado para tanques de carga montados sobre veículos rodoviários automotrizes, semirreboques e reboques

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Ipem/PR, ao Ipem/SP, a empresa Biasi Tanques e a empresa Librelato S.A. Implementos Rodoviários.