

Sistemas de medição hídrica com eliminação dos efeitos de submedição de vazão para uso em edificações e dessedentação animal

Water measurement systems with elimination of the effects of flow sub-measurement for use in buildings and livestock watering

Sistemas de medición de agua con eliminación de los efectos de la submedición del flujo para uso en edificios y agua de animales

Bene Eloi M. Camargo

Bacharel em Gestão e Análise Ambiental, UFSCar, Brasil
bn.camargo@gmail.com

Daniel Jadyr L. Costa

Professor do Departamento de Engenharia Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU, UFSCar, Brasil
danielcosta.geo@gmail.com

Julio Cesar Pascale Palhares

Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, Brasil
julio.palhares@embrapa.br

Jorge Akutsu

Professor do Departamento de Engenharia Civil, UFSCar
akutsu@ufscar.br

RESUMO

A medição individualizada em instalações hidráulicas prediais se caracteriza com um dos principais instrumentos de controle e uso racional da água. Medidores inadequadamente dimensionados podem resultar na submedição do consumo, o que ocorre quando as vazões no ramal de alimentação são inferiores à vazão mínima dos hidrômetros e, portanto, não detectadas. Alguns autores apontam a existência de submedição nos valores de consumo de água de mais de 60%, a depender da faixa de consumo, do tipo de hidrômetro empregado e da idade da instalação. É neste contexto em que estão apresentados neste trabalho os resultados encontrados sobre o desenvolvimento de dois sistemas de medição hídrica, denominados de protótipos, como alternativas ao sistema de medição convencional utilizados em reservatórios de abastecimento de água. A principal motivação para o desenvolvimento dos protótipos foi a busca por um sistema de medição hídrica com eliminação dos efeitos de submedição de vazões. De acordo com os resultados obtidos, e em conjunto com as verificações de erros admissíveis considerados na legislação metrológica, foi possível atingir os objetivos propostos, e desenvolver dois sistemas de medição hídrica com possibilidade de aplicação em edificações, dessedentação animal e áreas correlatas.

PALAVRAS-CHAVE: submedição de vazão; micromedição hídrica; tecnologias de medição do consumo hídrico.

ABSTRACT

The individualized measurement in building hydraulic installations is characterized by one of the main instruments of control and rational use of water. Inadequately dimensioned water meters can result in undermeasuring consumption, which occurs when flow rates in the supply branch are lower than the minimum flow of hydrometers and, therefore, not detected. Some authors point to the existence of under-measured in the water consumption values of more than 60%, depending on the consumption range of the type of hydrometer and the age of the installation. It is in this context that the results found on the development of two water measurement systems, called prototypes, are present in this work as alternatives to the conventional measurement system used in water supply reservoirs. The main motivation for the development of the prototypes is the search for a water measurement system with the elimination of the effects of flow undermeasurement. According to the results obtained, and in conjunction with the verification of admissible errors in metrological legislation, it was possible to achieve the proposed objectives, and to develop two water measurement systems with the possibility of application in buildings, watering livestock and related areas.

KEYWORDS: flow undermeasuring; water micromasuring; technologies for measuring water consumption.

RESUMEN

La medición individualizada en instalaciones hidráulicas de edificios se caracteriza por ser uno de los principales instrumentos de control y uso racional del agua. Los medidores de dimensiones inadecuadas pueden dar lugar a una submedición del consumo, que se produce cuando el flujo en el ramal de suministro son inferiores al flujo mínimo de los hidrómetros y, por tanto, no se detectan. Algunos autores apuntan a la existencia de submediciones en los valores de consumo de agua superiores al 60%, dependiente del rango de consumo del tipo de hidrômetro y de la antigüedad de la instalación. Es en este contexto que los resultados encontrados en el desarrollo de dos sistemas de abastecimiento de agua, denominados prototipos, están presentes en este

trabajo como alternativas al sistema de medición convencional utilizado en los reservorios de abastecimiento de agua. La principal motivación para el desarrollo de los prototipos fue la búsqueda de un sistema de medición de agua con la eliminación de los efectos de la medición de subflujo. De acuerdo con los resultados obtenidos, y en conjunto con la verificación de errores admisibles en la legislación metrológica, se logró alcanzar los objetivos propuestos, y desarrollar dos sistemas de medición de agua con posibilidad de aplicación en edificios, agua de animales y áreas afines.

PALABRAS CLAVE: submedición del flujo; micromedición de agua; tecnologías de medición del consumo de agua.

1 INTRODUÇÃO

A medição individualizada em instalações hidráulicas prediais se caracteriza como um dos principais instrumentos de controle e uso racional da água. A micromedição hídrica é um instrumento que existe na Europa desde o século passado, tendo surgido na década de 1950 na Alemanha, com a preocupação em se controlar o consumo de água. No Brasil, a preocupação com o uso racional da água, por meio da utilização de sistemas de medição individualizada, iniciou-se na década de 1970 (VÉROL et al 2019).

A medição individualizada, ou micromedição, está sendo gradativamente implementada nos sistemas de abastecimento prediais, e constitui sinônimo de economia de água e justiça social. Dentre outras vantagens, há a redução do consumo de energia elétrica em decorrência da redução do volume bombeado no sistema como um todo e a identificação de vazamentos anteriormente imperceptíveis (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

Desde a década de 1970 até os dias atuais, houveram muitas ações em termos de programas e eventos de conscientização para o uso racional, através do incentivo à prática da medição individualizada (VÉROL et al 2019), mas somente com a aprovação da Lei Federal 13.312/2016 (BRASIL, 2016) é que tornou-se obrigatória a medição individualizada do consumo

hídrico nas novas edificações condominiais. Essa obrigatoriedade, a qual foi incluída na Lei Federal 14.026/2020 (BRASIL, 2020), passará a ter validade no âmbito nacional, por meio da primeira legislação mencionada, a partir de 12 de julho de 2021.

O dimensionamento de hidrômetros tem sido tarefa das concessionárias de água no Brasil. Disso decorre, em geral, um desconhecimento dos projetistas de sistemas hidráulicos prediais sobre os diferentes aspectos envolvidos nessa tarefa. Medidores inadequadamente dimensionados podem resultar na submedição do consumo, o que ocorre quando as vazões no ramal de alimentação são, em sua maioria, inferiores à vazão mínima dos hidrômetros e, portanto, não detectadas (PEREIRA, 2007).

Além disso, essa situação é bastante frequente em sistemas indiretos¹ de abastecimento de edificações, em que o controle do abastecimento de água para o reservatório é efetuado por uma torneira de boia. As vazões ocorridas com o deslocamento do flutuador da torneira de boia são, em alguns momentos, extremamente baixas, e não detectadas pelos medidores empregados (ILHA, et al 2010). Devido a isso, verifica-se que a não-medição ou submedição de toda água potável consumida pela população brasileira pode chegar até 23% do valor total (PEREIRA & ILHA, 2008; SILVA, 2008; SOUZA, 2015).

1 O sistema de abastecimento indireto ocorre quando é utilizado um reservatório de água no local do abastecimento ou consumo. O sistema de abastecimento direto ocorre quando não há um reservatório no local do abastecimento, e a distribuição de água é feita diretamente pela pressão da rede de abastecimento (CARVALHO JÚNIOR, 2018). Os protótipos desenvolvidos nesse trabalho reproduzem as condições hidráulicas dos sistemas de abastecimento indireto.

No mais, sob o ponto de vista de desempenho metrológico, tomando-se como referência os critérios de erros máximos admissíveis em verificações periódicas da Portaria nº 246/2000 do INMETRO (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL) (INMETRO, 2000), alguns autores apontam a existência de submedição nos valores de consumo de água de mais de 60%, a depender da faixa de consumo, do tipo de hidrômetro empregado e da idade da instalação (SCALIZE et al 2014).

Além da ocorrência da submedição em sistemas de abastecimento prediais, o mesmo efeito tem sido observado em sistemas de abastecimento hídrico para a produção animal, que utilizam o sistema de abastecimento indireto, por intermédio de um reservatório. No caso da produção animal de bovinos, são dispostos reservatórios de água no campo para os animais realizarem a dessedentação, os quais são conhecidos como bebedouros.

O conhecimento do consumo hídrico na produção animal oferece inúmeras vantagens ao produtor como a melhoria no desempenho produtivo animal, melhorias ambientais sobre o manejo hídrico da propriedade e da atividade, além de subsidiar o cumprimento de medidas legais devido ao levantamento de dados essenciais para o dimensionamento do porte da atividade (PALHARES 2013 e 2019).

Na falta de condições de monitoramento do consumo hídrico através da micromedição é possível recorrer a medidas indiretas para estimar esses valores. Órgãos outorgantes como a ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE

ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO), disponibilizam dados de demanda de água para a dessedentação animal, por meio de tabelas de consumo hídrico por grupo ou tipo de animal, como proposto em ANA (2013), porém são valores genéricos e, por isso, muito imprecisos (PALHARES 2019).

O monitoramento do consumo hídrico para dessedentação animal através da instalação de hidrômetros nos bebedouros consiste na forma mais precisa para obtenção desses valores. No entanto, tem-se que o comportamento hidráulico do bebedouro aplicado na bovinocultura é semelhante ao comportamento dos reservatórios de abastecimento predial, onde o controle do abastecimento de água para o reservatório é efetuado através de uma torneira de boia.

Há ainda um agravante no caso dos bebedouros animais: a vazão de saída de água do reservatório para o ato da dessedentação é muito baixa, pois considerando as proporções de armazenamento líquido dos reservatórios (em torno de 400 litros), a taxa de ingestão líquida por animal durante um evento de dessedentação é insuficiente para movimentar de maneira significativa a torneira boia, e conseqüentemente, durante o consumo animal ela se mantém na condição de quase obstrução total de entrada de água no bebedouro, ocasionando vazões na tubulação de entrada abaixo dos valores mínimos de medição dos hidrômetros convencionais. A consequência desse conjunto de eventos será a não medição de vazão, pois a velocidade do escoamento da água na tubulação é muito baixa e a mesma, geralmente, não tem força suficiente para girar a turbina

velocimétrica que compõe o interior do hidrômetro, a qual é responsável pela aferição do volume da passagem líquida.

É neste contexto em que estão apresentados neste trabalho os resultados encontrados sobre o desenvolvimento de dois sistemas de medição hídrica, denominados de protótipos, como formas alternativas de uso do sistema de medição convencional utilizados em reservatórios de abastecimento de água. A principal motivação para o desenvolvimento dos protótipos foi a busca por um sistema de medição hídrica com eliminação dos efeitos de submedição de vazões.

2 OBJETIVOS

Desenvolvimento de dois protótipos de sistemas de medição hídrica com eliminação dos efeitos de submedição de vazões, e com condições de medição em situações de consumo extremamente baixas.

3 METODOLOGIA E MÉTODOS DE ANÁLISE

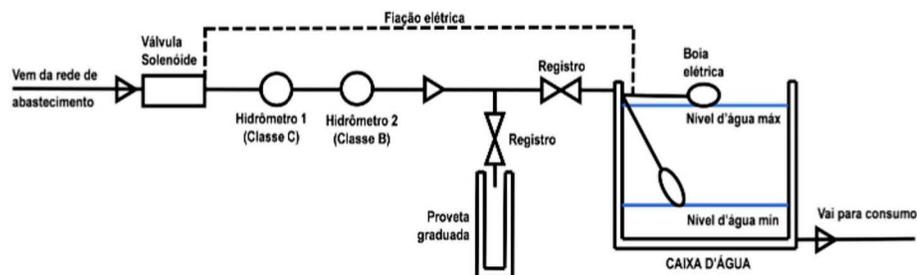
Os protótipos desenvolvidos estão identificados nesse texto como Protótipo 1 e Protótipos 2 e 2aux.

3.1 Protótipo 1

Esse protótipo se refere a um modelo de medição hídrica utilizado em sistemas de abastecimento indireto para edificações. É composto por um reservatório do tipo caixa d'água, e neste caso possui capacidade de armazenamento de 100 litros.

Esse sistema de medição é composto pelos seguintes componentes: a. Válvula solenóide; b. Hidrômetro 1: tipo unijato velocimétrico Classe C; c. Hidrômetro 2: tipo unijato velocimétrico Classe B; d. Reservatório de nível variável (caixa d'água); e e. Boia elétrica. Na Figura 1 está apresentado o esquema de montagem do sistema com a localização dos componentes.

Figura 1: Esquema de montagem do Protótipo 1.



Fonte: Autoria própria.

3.2 Protótipo 2 e Protótipo 2_{aux}

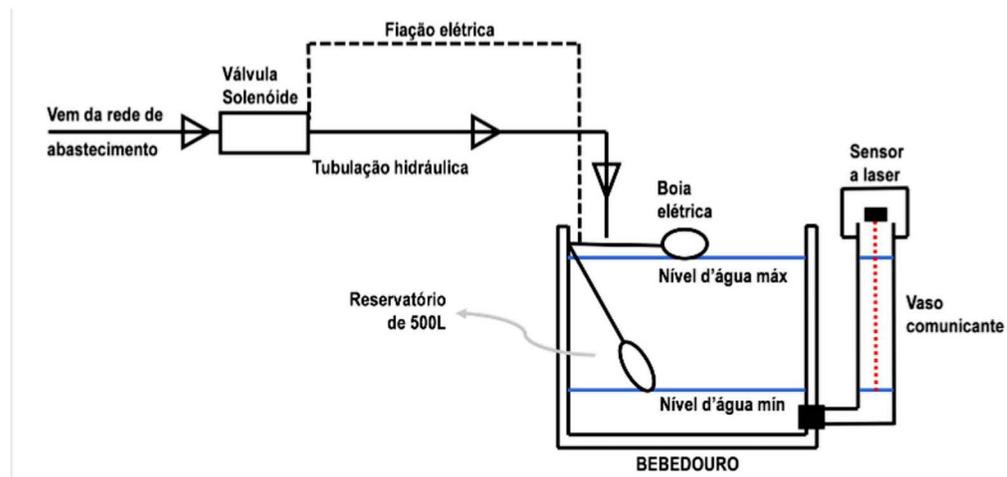
A construção desse sistema foi realizada de maneira alternativa ao uso de hidrômetro, sendo utilizado um mecanismo de aferição de vazão através da leitura da variação do nível de água no reservatório. Assim, em um reservatório de nível

variável, denominado de bebedouro, foi realizada a instalação de um vaso comunicante para a leitura do nível de água. As leituras instantâneas dos níveis de água no vaso foram realizadas através do uso de um sensor a laser.

O Protótipo 2 é composto pelos seguintes componentes: a. Válvula solenóide; b. Boia elétrica; c. Inversor de corrente elétrica alternada para contínua; d. Reservatório de nível variável (bebedouro); e. Vaso comunicante; e f. Sensor a laser.

Na Figura 2 está apresentado o esquema de montagem do sistema com a localização de alguns dos componentes do Protótipo 2.

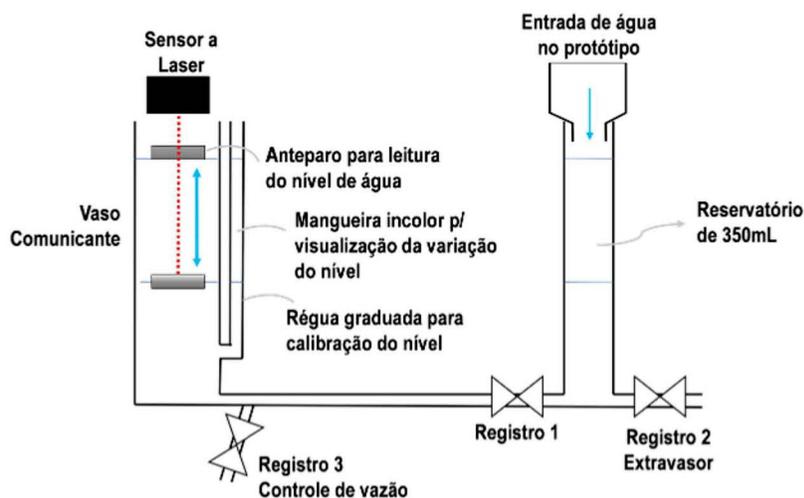
Figura 2: Esquema de montagem do Protótipo 2.



Fonte: Autoria própria.

Considerando o protótipo 2, foi desenvolvido um protótipo auxiliar para o mesmo, denominado de Protótipo 2 auxiliar (ou Protótipo 2_{aux}), o qual contém um vaso comunicante idêntico ao que foi utilizado no Protótipo 2. O esquema de montagem do Protótipo 2_{aux} está apresentado na Figura 3.

Figura 3: Esquema de montagem do Protótipo 2_{aux}.



Fonte: Autoria própria.

A principal justificativa e vantagem da construção do Protótipo 2_{aux} se refere à economia de água durante o seu uso. Ao utilizar o Protótipo 2_{aux} para execução dos experimentos, em substituição ao Protótipo 2, foi possível economizar quantidades significativas de água, pois o Protótipo 2 possui um reservatório de 400 litros (L) e o Protótipo 2_{aux} possui um microreservatório de 350 mililitros (mL). O consumo de água em cada experimento é proporcional ao volume dos reservatórios.

Além disso, devido aos vasos comunicantes possuírem as mesmas dimensões em ambos os protótipos (altura (h) de 250 mm e diâmetro (Ø) de 75 mm), não haverá divergências quanto ao desempenho de funcionamento do sensor a laser quando utilizado em um ou outro protótipo, e essa condição possibilita a realização do aumento de escala do Protótipo 2_{aux} para o Protótipo 2 com facilidade e condições metodológicas semelhantes. Os resultados apresentados neste trabalho se referem aos encontrados com o uso do Protótipo 2_{aux}.

3.3 Validação dos protótipos

Para a validação dos protótipos foram realizados testes comparativos de medição de vazões, tomando-se como referência os critérios de erros máximos admissíveis para verificações periódicas e eventuais presentes nas Portarias nº 246/2000 e 436/2011 do INMETRO (INMETRO, 2000 e 2011).

Para o cálculo do erro relativo do Protótipo 1, foi utilizada a seguinte expressão:

$$E = \frac{(L_f - L_i) - V_e}{V_e} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que: E = erro relativo em percentagem (%); Li = leitura inicial de volume do hidrômetro (m³); Lf = leitura final de volume do hidrômetro (m³); e Ve = volume escoado verdadeiro (m³).

O volume escoado considerado como verdadeiro ou de referência foi obtido por meio do método volumétrico, com uso de proveta e frascos graduados. As vazões (Q) foram calculadas pela variação do volume (ΔV) no decorrer de um período de tempo (Δt), através da expressão: Q=ΔV/Δt.

Analogamente ao Protótipo 1, para o cálculo do erro relativo sobre os resultados de uso dos Protótipos 2 e 2aux, foi utilizada a seguinte expressão:

$$E = \frac{(h_f - h_i) - V_e}{V_e} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que: E = erro relativo em percentagem (%); hi = leitura inicial do nível de água no reservatório (h); hf = leitura final do nível de água no reservatório (h); e Ve = volume escoado verdadeiro (m³).

Da mesma maneira que nos testes realizados para o Protótipo 1 o volume escoado verdadeiro foi aferido pelo método volumétrico. Para os parâmetros hi e hf, os volumes (m³) correspondentes aos níveis de água (h) aferidos foram obtidos por uma curva de calibração referente ao volume (V) em função do nível de água (h), ou seja, foi necessário encontrar a relação de dependência entre variáveis, por meio da função matemática: V = f(h).

A obtenção da curva de calibração foi realizada através da calibração da função matemática aos dados

experimentais, e para isso utilizou-se o Método dos Mínimos Quadrados através da ferramenta Solver do Excel (GIORGETTI, 2008; COSTA, 2015; COSTA et al., 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Protótipo 1

A construção do esquema idealizado na Figura 1 foi realizada conforme apresentado na Fig. 4.

Figura 4: Apresentação do Protótipo 1.



Fonte: Autoria própria.

A execução do Protótipo 1 foi realizada com uso de uma caixa d'água azul em polietileno e tubulações em PVC de 25mm de diâmetro. Quanto ao circuito hidráulico do escoamento, a água que vem da rede pública de abastecimento percorreu, consecutivamente, a válvula solenóide, os hidrômetros Classe C e Classe B, e caixa d'água. A válvula solenóide foi conectada à boia elétrica.

Foi possível observar que a boia elétrica funcionou com uma amplitude vertical de 17 ± 2 cm, o que correspondeu a, aproximadamente, 64 ± 8 L de água para cada acionamento da mesma. Para efeito

de economia de água foi realizado armazenamento e recirculação de água, sempre que possível.

4.1.1 Limitações dos hidrômetros utilizados no Protótipo 1

As vazões mínimas de trabalho (QMÍNIMA) dos hidrômetros foram identificadas de acordo com o manual do fabricante e estão apresentadas na Tabela 1. Tomando-se como referência a QMÍNIMA, deve haver a preocupação em produzir uma vazão de funcionamento do sistema com valor acima deste, para garantir a aferição do escoamento pelo equipamento.

Tabela 1: Características metrológicas dos hidrômetros.

Tipo de hidrômetro	Q _{MÍNIMA} (m ³ /h)	Q _{MÍNIMA} (L/min)	Condições de trabalho
HIDRÔMETRO CLASSE C	0,015	0,25	Equipamento mais sensível. Situação mais confortável e comumente com menor chance de ocasionar submedição ou não medição.
HIDRÔMETRO CLASSE B	0,03	0,5	Equipamento menos sensível. Situação menos confortável e comumente com maior chance de ocasionar submedição ou não medição.

Fonte: Autoria própria.

Considerando as condições limitantes dos hidrômetros utilizados verifica-se, na Tabela 1, que o hidrômetro Classe B é o equipamento com menor sensibilidade e, portanto, mais propício à submedição ou não medição de vazão. Desta maneira a vazão produzida com o uso do Protótipo 1 precisa ser igual ou maior do que 0.03 m³/h, quando fizer uso do hidrômetro Classe B, e pode ser igual ou maior do que 0.015 m³/h, quando fizer uso do hidrômetro Classe C. Importante mencionar que os hidrômetros do tipo Classe C são equipamentos com custos mais elevados quando comparados aos hidrômetros do tipo Classe B.

4.1.2 Condições hidráulicas do Protótipo 1: vazão padrão produzida e verificação dos erros

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da vazão padrão produzida pelo Protótipo 1 (QPADRÃO), aferidas com uso do método volumétrico. A vazão padrão se refere a vazão típica que ocorre quando o sistema está em funcionamento, a qual é dependente das características hidráulicas e construtivas do sistema, como tipo e quantidade de acessórios utilizados (cotovelos, curvas, diâmetro a tubulação, etc), e da pressão da rede disponível no local. A vantagem em construir um sistema de medição que proporcione vazões típicas (com padrão no valor de ocorrência) é que haverá a garantia da medição hídrica, e eliminação dos efeitos de submedição.

Tabela 2: Características metrológicas dos hidrômetros.

Q _{PADRÃO} Protótipo 1 (m ³ /h)	Q _{AFERIDA} Hidrômetros (m ³ /h)	Erro Hidrômetros (%)	Erro máximo admissível (%) (Portaria 246/2000 INMETRO)	Atende a Portaria INMETRO?
0.563±0.001	0.567 (Hidr. Classe C)	0.7	5	Sim
	0.568 (Hidr. Classe B)	2.2	5	Sim

Fonte: Autoria própria.

Para o presente caso são considerados como adequados os valores iguais ou acima de 0.03 m³/h, para permitir o uso hidrômetro Classe B no Protótipo 1. O valor máximo de vazão no Protótipo 1 deve seguir a recomendação do fabricante do hidrômetro, a partir de consulta ao

certificado de calibração ou portaria de aprovação do INMETRO que é emitida especificamente para o equipamento.

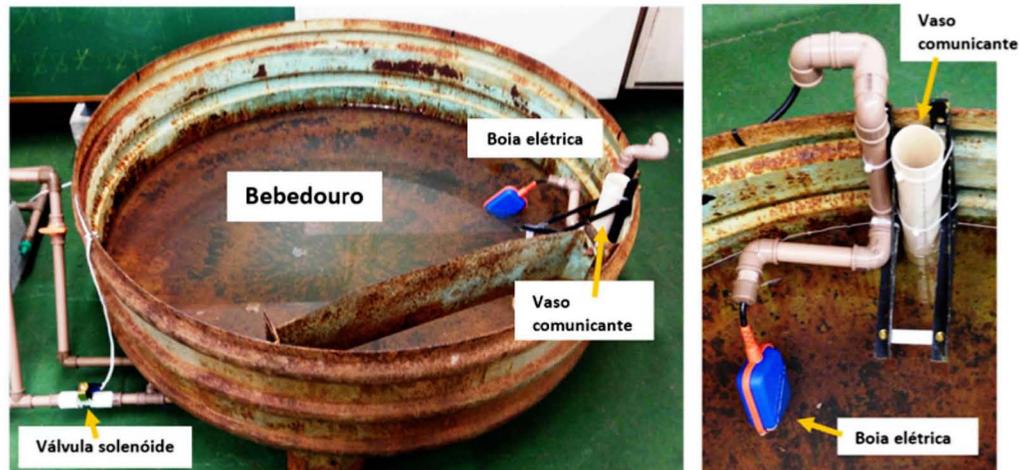
Na Tabela 2, além da vazão padrão produzida pelo Protótipo 1, também estão apresentados os resultados das vazões aferidas (QAFERIDA) com o uso dos hidrômetros Classe C e Classe B, a indicação dos erros associados a cada hidrômetro, e o erro máximo admissível de acordo com a Portaria 246/2000 do INMETRO. Considerando a vazão padrão típica do Protótipo 1 é possível verificar por meio dos resultados apresentados na Tabela 2 que ambos os hidrômetros, Classe C e Classe B, foram capazes de atender os critérios de erros de avaliações periódicas

estabelecidos na Portaria 246/2000 do INMETRO, quando utilizados como instrumento de medição do Protótipo 1. O hidrômetro Classe C apresentou erro da ordem de 0.7%, e o hidrômetro Classe B apresentou erro da ordem de 2.2%. O erro máximo admissível na portaria é de 5%. Portanto, na prática, poderão ser construídas instalações similares as que estão presentes no Protótipo 1, inclusive com o uso de apenas um dos hidrômetros, sendo o hidrômetro Classe B apontado como o de menor custo.

4.2 Protótipo 2 e Protótipo 2_{aux}

A construção do esquema idealizado pela Figura 2 foi realizada conforme apresentado na Fig. 5.

Figura 5: Apresentação do Protótipo 2.



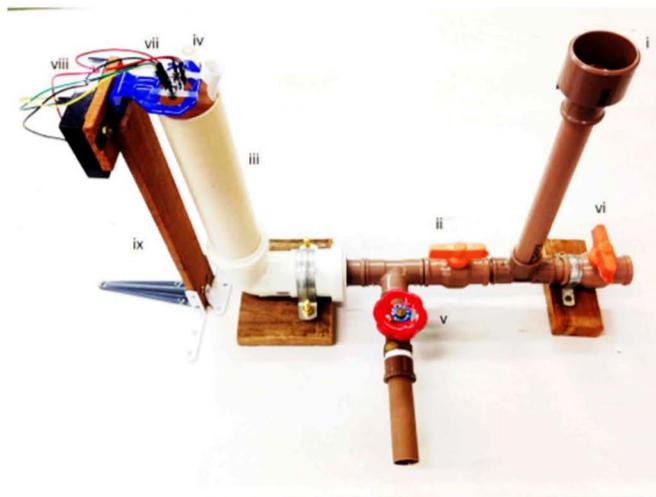
Fonte: Autoria própria.

A construção do esquema de montagem idealizado do Protótipo 2aux, pela Figura 3, foi realizada conforme apresentado na Figura 6.

Considerando a mesma amplitude de funcionamento da boia elétrica

observada no Protótipo 1, de 17 ± 2 cm, o consumo de água para cada experimento no Protótipo 2aux, é de aproximadamente 200mL. No Protótipo 2 (Bebedouro em escala real, apresentado na Figura 5), o consumo de água proporcional a essa

Figura 6: Apresentação do Protótipo 2_{aux.}



Estão indicados na Figura 6 os seguintes componentes do Protótipo 2_{aux.}: i. Funil de entrada de água no protótipo; ii. Registro 1; iii. Vaso comunicante; iv. Mangueira incolor conectada ao vaso comunicante; v. Registro 3; vi. Registro 2; vii. Sensor a laser apoiado em suporte azul, direcionado para o interior do vaso comunicante; viii. Microprocessador, e; ix. Suporte para sustentação do microprocessador e sensor a laser.

Fonte: Autoria própria.

mesma amplitude de variação da boia elétrica é de aproximadamente 200L.

Os experimentos foram realizados com uso do sensor a laser VL53L0X da ST Microelectronics, o qual possui dois modos de operação. O primeiro modo é utilizado quando deseja-se realizar aferições com uma frequência elevada, em que as medições são repetidamente registradas o mais rápido possível (modo de alta velocidade). O segundo modo é utilizado quando pretende-se ler as medidas com a maior acurácia possível, porém com uma frequência amostral menor. Para o modo em alta velocidade de registro de aferições, são tomadas medidas em uma frequência temporal de 20ms (milissegundos)², com a acurácia de $\pm 5\%$. Quando deseja-se obter maior acurácia, as medidas devem ser tomadas em intervalos a partir de 200ms, com a acurácia de $\pm 3\%$. Em termos de leitura de distância, a sua amplitude de trabalho engloba a faixa de 30 a 2000mm, sendo estas as distâncias mínima e máxima, respectivamente, considerando a

posição do sensor e o objeto alvo.

Para os experimentos realizados neste trabalho optou-se por programar o sensor para realizar leituras de distância com uma frequência amostral de 1s, ou seja, 60 aferições por minuto, praticando-se a condição de maior acurácia na obtenção dos resultados.

4.2.1 Testes preliminares para definição da superfície alvo

Como etapa preliminar à obtenção da curva de calibração, foi realizada uma checagem quanto a precisão de leitura sobre diferentes tipos de superfície do objeto alvo. Para essa finalidade, foram realizados testes em superfícies alvo com materiais líquidos e sólidos, a partir das seguintes superfícies: água limpa, água turva e anteparo físico flutuante composto por um bloco de isopor. O bloco de isopor foi a superfície que apresentou os melhores resultados. O mesmo está indicado na Figura 3 como "Anteparo para leitura do nível de água".

² 1 milissegundo (ms) é a unidade de medida de tempo que corresponde a 10^{-3} segundos (s), sendo também chamado de 1 milésimo de segundo. Deste modo, temos que: $1\text{ms} = 0,001\text{s}$.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da análise estatística aplicada sobre os testes preliminares. Os ensaios tiveram duração mínima de 10 minutos, portanto havendo ao menos 600 aferições da distância entre o sensor a laser e a superfície do objeto alvo em cada ensaio.

Tabela 3: Parâmetros estatísticos dos testes preliminares utilizando três tipos de superfícies.

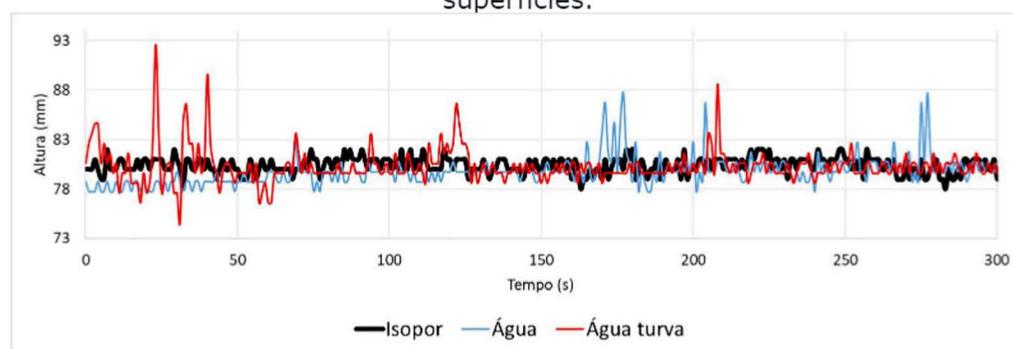
Parâmetros	Água limpa	Água turva	Bloco de Isopor
Erro padrão (mm)	0,05	0,05	0,03
Desvio padrão (mm)	1,4	1,33	0,81
Variância da amostra (mm)	1,97	1,77	0,66
Amplitude (mm)	11	18	4
Nº de aferições	679	645	679

Fonte: Autoria própria.

É possível observar, através dos resultados do desvio padrão e da variância da amostra, que o uso de um isopor flutuante na superfície líquida proporcionou os menores valores para esses parâmetros estatísticos, o que significa que a utilização desse tipo de superfície fornece resultados de medição mais estáveis e com maior precisão.

Na Figura 7 estão apresentados os resultados dos testes preliminares na forma gráfica, considerando a primeira metade do intervalo de medição, que corresponde a um período de 5 min ou 300 s.

Figura 7: Gráficos dos testes preliminares utilizando três tipos de superfícies.



Fonte: Autoria própria.

A partir do gráfico da Figura 7, e considerando a visualização dos picos gerados nas linhas vermelha (água turva) e azul (água limpa), é possível notar maior instabilidade sobre um valor médio arbitrário nessas condições, com uso de água turva e água limpa. Por outro lado, foi proporcionada menor instabilidade para as leituras sobre o anteparo de

isopor. Este comportamento ocorreu devido às características do sensor, que opera com maior precisão quando incide sobre anteparos com maior reflectância.

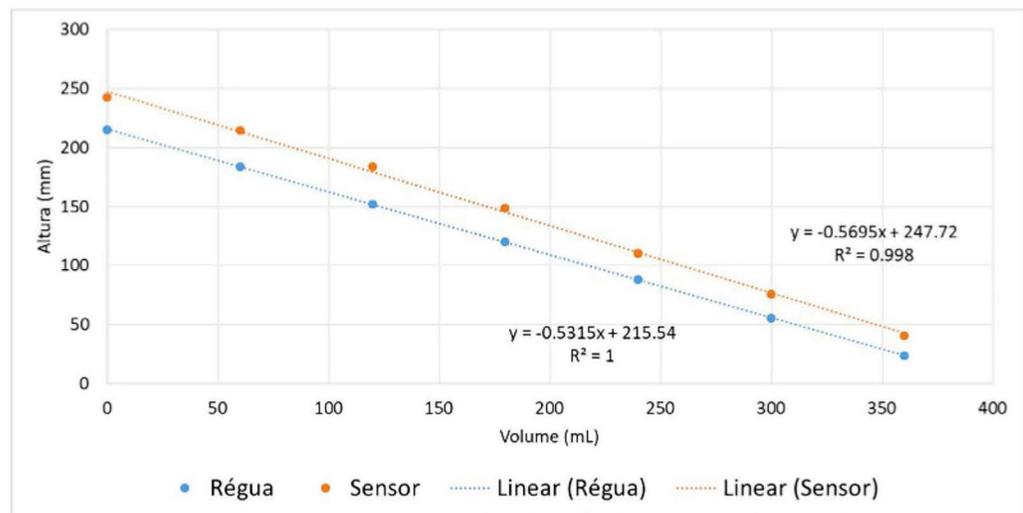
4.2.2 Curva de calibração para o vaso comunicante a partir do Protótipo

2_{aux}

A curva de calibração foi obtida adicionando-se alíquotas de volumes de água previamente conhecidos (60mL) no interior do vaso comunicante, a partir de um nível inicial previamente definido. Foram comparados os valores de leitura a variação do nível de água a partir dos resultados encontrados

com uso do sensor a laser e de uma régua milimétrica. Considerando que eventualmente havia movimentação da água no interior do vaso comunicante, durante a realização dos ensaios, devido ao manuseio do protótipo, a leitura com uso do sensor e da régua era efetivada somente após a estabilização do fluido. As medidas da régua foram tomadas como valor verdadeiro, e serviram de referência para checar o quão distante da realidade foram efetuadas as leituras através do uso do sensor. Na Figura 8 estão apresentadas as curvas de calibração obtidas com o uso da régua (em azul) e do sensor a laser (em vermelho).

Figura 8: Curva de calibração obtida com uso do Protótipo 2_{aux} .



Fonte: Autoria própria.

No gráfico apresentado na Figura 8 é possível observar comportamento análogo de taxa de variação entre as duas formas de medida. Os coeficientes angulares das equações obtidas apresentaram valores muito próximos, sendo aproximadamente -0,53 (mm/mL), com uso da régua, e -0,57 (mm/mL), com uso do sensor. Os coeficientes lineares de distanciaram em aproximadamente

32 unidades da escala de leitura (mm), 247,72 mm - 215,54 mm, o que é possível corrigir essa diferença matematicamente, subtraindo as 32 unidades de leitura da equação do sensor, ou fisicamente, por meio da correção da posição relativa do sensor, reduzindo a sua altura em 32 mm. A equação geral obtida foi a seguinte: $y = -0,5695x + 247,72$, com $R^2 = 0,998$.

4.2.3 Resultados experimentais com uso do Protótipo 2_{aux}

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados experimentais obtidos

a partir do uso do Protótipo 2_{aux} devido a 6 ensaios executados com vazões diferentes, e todas consideravelmente baixas.

Tabela 4: Resultados experimentais obtidos com o uso do Protótipo 2_{aux}.

Ensaio	Método Volumétrico (L/min)	Sensor a Laser: Protótipo 2 _{aux} (L/min)	Erro no Protótipo 2 _{aux} (%)	Erro máximo admissível (%) (Portaria 246/2000 INMETRO)	Atende a Portaria INMETRO?
1	0,2200	0,2230	1,3	10	Sim
2	0,0160	0,0170	5,9	10	Sim
3	0,0070	0,0064	9,4	10	Sim
4	0,0057	0,0055	3,6	10	Sim
5	0,0028	0,0026	7,7	10	Sim
6	0,0022	0,0021	4,8	10	Sim

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que: todas as vazões aferidas estão abaixo da capacidade de vazão mínima de aferição dos hidrômetros Classe B e Classe C, que são, respectivamente, 0,5 L/min e 0,25 L/min.

Considerando os ensaios apresentados na Tabela 4, as vazões

aplicadas foram consideravelmente baixas ao ponto de o escoamento de água sair através do tubo de PVC na forma de gotejamento. Na Figura 9 está apresentado o registro fotográfico do momento de saída de uma gota de água do protótipo, durante a execução do Ensaio 2 nas condições apresentadas na Tabela 4.

Figura 9: Registro fotográfico da saída de uma gota de água do protótipo durante execução de ensaio.



Fonte: Autoria própria.

O evento de gotejamento apresentado na Figura 9 foi fotografado pelos autores para evidenciar que essa é uma situação de escoamento pouco favorável para a medição de vazão, sendo inclusive não passível de medição através dos métodos convencionais, como por exemplo, através do uso de hidrômetros velocimétricos. Caracteriza-se como uma condição desafiadora e atípica quando deseja-se realizar a sua aferição, mas que teve o objetivo alcançado nesse trabalho com o desenvolvimento e uso do Protótipo 2_{aux}, com condições de erros metrológicos abaixo de 10% em todos os ensaios, conforme apresentado na Tabela 4.

4.2.4 Análise da aplicação dos Protótipos 2 e 2_{aux} para condições de campo

Devido a dificuldade, ainda presente no meio técnico, em se obter dados de medição instantânea e contínua de água durante um evento de dessedentação animal em um bebedouro, foi necessário fazer uma estimativa média e teórica do volume ingerido de água pelo animal durante esse evento. Para isso, nesta seção foi estimado o volume que pode ser consumido durante um intervalo hipotético de tempo da ingestão hídrica.

Considerando que um gado de médio porte consome cerca de 40 litros de água por dia, e realiza em torno de 4 visitas ao bebedouro/dia, ele realiza o consumo de aproximadamente 10 litros de água para cada visita ao bebedouro. No caso de considerar que o tempo necessário para realização deste consumo é de aproximadamente 3 minutos, há a ocorrência de uma vazão de 3,3L/min durante o evento. Quando este

consumo for realizado no campo, em bebedouros que possuem em torno de 1,5m de diâmetro, como é o caso do bebedouro apresentado na Figura 5 (Protótipo 2), a variação do nível de água no interior do mesmo será de aproximadamente 1,89 mm/min.

A partir deste valor de variação do nível de água (1,89 mm/min), e considerando a relação de equivalência geométrica que há entre o Protótipo 2 e o Protótipo 2_{exp}, para checar se o sensor a laser teria sensibilidade suficiente para aferir essa variação, foi necessário calcular a vazão equivalente que ocorreria no Protótipo 2_{aux}, para a mesma variação de nível. Após o cálculo, foi consultado a Tabela 4 (Resultados experimentais obtidos com o uso do Protótipo 2_{aux}) para verificar se a vazão resultante foi contemplada dentro das condições dos ensaios 1 a 6 desta tabela.

Deste modo, considerando as características construtivas do Protótipo 2_{aux}, que possui vaso comunicante de 75mm de diâmetro, a vazão resultante numa ocorrência de variação de nível de água de 1,89 mm/min, seria de aproximadamente 0,0083 L/min. Na Tabela 4, essa é uma condição de vazão presente entre os ensaios 2 e 3 e, portanto, isso significa que o método de medição de vazão proposto, com uso do sensor a laser, possui sensibilidade suficiente para aferir taxas de ingestão líquida animal, a partir das considerações realizadas.

É importante mencionar que todas as vazões utilizadas nos ensaios apresentados na Tabela 4 estão abaixo da capacidade de vazão mínima de aferição dos hidrômetros Classe B e Classe C, o que significa que esses equipamentos (os

hidrômetros) não seriam capazes de realizar essas aferições, mas as mesmas foram aferidas com o uso do Protótipo 2aux, dentro das condições de erros admissíveis na legislação metrológica.

5 CONCLUSÕES

Através do comportamento hidráulico do Protótipo 1, desenvolvido para uso em edificações, é possível verificar que foi eliminada a possibilidade de ocorrências de submedições de vazões, pois foi possível atingir uma vazão padrão de trabalho acima da capacidade mínima de aferição dos hidrômetros Classe B e C ($0,563 \pm 0,001 \text{ m}^3/\text{h}$). Esse objetivo foi possível de ser alcançado principalmente devido a substituição da torneira boia por boia elétrica, como mecanismo de controle de entrada de água no interior do reservatório.

Além disso, o desenvolvimento de um mecanismo de medição de vazão através da aferição da variação do nível da água, como implementado nos Protótipos 2 e 2aux, permitiu aferir vazões muito baixas, inclusive com sensibilidade para medir a taxa de consumo de água para dessedentação animal, nas condições mencionadas, em específico para o rebanho de gado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a bolsa PIBITI/CNPq concedida ao primeiro autor para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa e a Rede Integração Lavoura Pecuária Floresta pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas, 2013.** -- Brasília, DF, 2013.

CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: princípios básicos para elaboração de projetos.** 3ª ed. rev. e ampl. – São Paulo: Blucher, 2018.

BRASIL. **Lei 13.312/2016.** Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, para tornar obrigatória a medição individualizada do consumo hídrico nas novas edificações condominiais.

BRASIL. **Lei 14.026/2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, além de outras providências.

COSTA, D. J. L. **Modelo Matemático para Avaliação Hidrodinâmica de Escoamentos em Regime Não-permanente.** Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

COSTA D. J. L. et al. **Hydrodynamic evaluation of retention time in non-steady state reactors using the N-CSTR model and numerical simulation.** Desalination and Water Treatment, v.132, p.30-41, 2018.

GIORGETTI, M. F. **Fundamentos de fenômenos de transporte para**

- estudantes de engenharia.** São Carlos: Suprema, 2008.
- ILHA, M. S. O. et al. **Sistemas de medição individualizada de água: como determinar as vazões de projeto para a especificação dos hidrômetros?** Eng. Sanit. Ambient., v.15, n.2, p.177-186, 2010.
- INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (BRASIL). **Portaria Nº 246 de 17 de outubro de 2000.**
- INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (BRASIL). **Portaria Nº 436 de 16 de novembro de 2011.**
- PALHARES, J.C.P. **Consumo de água na produção animal.** Comunicado Técnico nº 102, São Carlos, SP, Embrapa Pecuária Sudeste, 2013.
- PALHARES, J.C.P. **Consumo de água na produção animal brasileira.** In: PALHARES, J.C.P. (Org.). Produção animal e recursos hídricos: tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente dos insumos. Brasília, DF – Embrapa, 2019.
- PEREIRA, L.G. **Avaliação da submedição de água em edificações residenciais unifamiliares: o caso das unidades de interesse social localizadas em Campinas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- PEREIRA, L. G. & ILHA, M. S. O. **Avaliação da submedição de água em edificações residenciais unifamiliares: o caso das unidades de interesse social localizadas em Campinas, no estado de São Paulo.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.8, n.2, p.7-21, 2008.
- SCALIZE, P. S. et al. **Substituição racional de hidrômetros em sistemas de abastecimento de água.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, p. 1-9, 2014.
- SILVA, N.R. **Estudo de metodologias para avaliação de submedição de hidrômetros domiciliares em sistemas de água.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- SOUZA, P. R. C. et al. **Guia prático de procedimentos para estimativa de submedição no parque de hidrômetros** – Série Balanço Hídrico, Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento, v. 3, 1ª ed, 2015.
- VERÓL, A.P.; VAZQUEZ, E.G.; MIGUEZ, M.G. **Sistemas prediais hidráulicos e sanitários: projetos práticos e sustentáveis.** 1ª ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.