

MEDIÇÃO DO VOLUME DE AR EM HIDRÔMETRO RESIDENCIAL: RESULTADOS PRELIMINARES

Vinicus Grando-Sirtoli¹, Airton Akio Watabe-Sato¹, Pedro Bertemes-Filho²

¹ Aluno do curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica

² Doutorado em Física Médica, Universidade de Sheffield. Professor de Engenharia Elétrica.

Correio eletrônico: pedro.bertemes@udesc.br

Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil

Recibido: 7 de julio del 2015

Aprobado: 12 de noviembre del 2015

Cómo citar este artículo: V. Grando-Sirtoli, A.A Watabe-Sato, P. Bertemes-Filho, "Medição do volume de ar em hidrômetro residencial: resultados preliminares", *Ingeniería Solidaria*, pp. 73-79, vol. 12 n.º 19, abril 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v12i19.1195>

Resumo. *Introdução:* este artigo é resultado de pesquisa realizada em 2015 para a Licenciatura em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado de Santa Catarina. Muitos sistemas de medição de água utilizados em residências podem registrar a passagem de ar que pode estar presente no sistema de distribuição. Esse problema é complexo de medir, pois se trata de uma mistura entre líquido e gás. Este artigo tem como objetivo identificar e quantificar a sensibilidade de hidrômetros residenciais quanto ao volume de ar que é registrado. *Metodologia:* para isso, foi desenvolvido um circuito hidráulico em bancada, no qual se utilizaram sensores para monitorar a entrada e a saída de água e ar no sistema, sendo composto por dois reservatórios. Um deles armazena água para a circulação na tubulação hidráulica montada e outro armazena a água total do sistema. O controle do nível de água nos reservatórios é feito por sensores ultrassônico e potenciométrico. Um rotâmetro é usado para estimar o volume total da água que entra no sistema a partir da leitura de sua vazão volumétrica. *Resultados:* os resultados obtidos mostraram que o hidrômetro tem uma sensibilidade ao fluxo de ar que não pode ser desprezada e chega a medir até 44% de ar na mistura ar-água. O erro entre o volume estimado de água pelo rotâmetro e o que é lido no hidrômetro foi de 3,7 litros. *Conclusões:* o hidrômetro é significativamente sensível à presença de ar nas tubulações hidráulicas residenciais, sob as condições normais de uma vazão nominal de aproximadamente 1,5 m³/h.

Palavras-chave: circuito hidráulico, hidrômetro, instrumentação eletrônica, mistura ar-água, rotâmetro.



MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE AIRE EN HIDRÓMETRO RESIDENCIAL: RESULTADOS PRELIMINARES

Resumen. *Introducción:* este artículo es resultado de la investigación realizada en el 2015 para la Licenciatura en Ingeniería electrónica de la Universidad del Estado de Santa Catarina (Brasil). Muchos sistemas de medición de agua utilizados en residencias pueden registrar el paso de aire que puede estar presente en el sistema de distribución. Este problema es complejo de medir, pues se trata de una mezcla entre líquido y gas. Este artículo tiene como propósito identificar y cuantificar la sensibilidad de hidrómetros residenciales en cuanto al volumen de aire que se registra. *Metodología:* para ello, se desarrolló un circuito hidráulico experimental, en el que se utilizaron sensores para monitorear la entrada y salida de agua y aire en el sistema, compuesto por dos depósitos. Uno de ellos almacena agua para la circulación del drenaje hidráulico armado y el otro almacena el agua total del sistema. El control del nivel del agua en los depósitos se hace por sensores: ultrasónico y potenciométrico. Un rotámetro se usa para estimar el volumen total del agua que entra en el sistema desde la lectura de su flujo volumétrico. *Resultados:* los resultados obtenidos mostraron que el hidrómetro tiene una sensibilidad al flujo de aire que no se puede despreciar y llega a medir hasta 44% de aire en la mezcla de aire y agua. El error entre el volumen estimado de agua por el rotámetro y lo que se lee en el hidrómetro fue de 3,7 litros. *Conclusión:* el hidrómetro es significativamente sensible a la presencia de aire en las tuberías hidráulicas residenciales, bajo las condiciones normales de un flujo nominal de aproximadamente 1,5 m³/h.

Palabras claves: circuito hidráulico, hidrómetro, instrumentación electrónica, mezcla aire-agua, rotámetro.

AIR MEASUREMENT IN RESIDENTIAL HYDROMETER: PRELIMINARY RESULTS

Abstract. *Introduction:* This article was created by the 2015 research for the Electronics' Engineering Degree of the University of Santa Catarina's department (Brazil). Most systems that measure water and are used in residences can register the air flow that may be present in the distribution system. This problem is hard to measure, since it's a combination of liquid and gas. The purpose of this article is to identify and quantify the sensibility of residential hydrometers to the air volume registered. *Methodology:* To accomplish it, an experimental hydraulic circuit was developed, and sensors were deployed to monitor the water entry and exit of the system, composed by two warehouses. One warehouse stored water for the circulation of the hydraulic drainage, while the other stored the total amount of water in the system. The water level in the storehouses is controlled with ultrasonic and potentiometer sensors. A spinner is used to estimate the total water volume that enters the system by measuring its volumetric flow. *Results:* The results show that the hydrometer is very sensible to the air flow and that it can measure up to 44% of air in the air/water combination. The difference in the estimated water volume in the spinner and in the hydrometer was of 3,7 liters. *Conclusions:* The hydrometer is especially sensible to air presence in the residential hydraulic pipelines under normal conditions of a nominal flow of approximately 1,5 m³/h.

Keywords: hydraulic circuit, hydrometer, electronic instrumentation, air/water combination, spinner.

1. Introdução

Da fonte aos pontos de consumo, sejam eles comerciais ou residenciais, a água percorre um longo caminho. O conjunto que integra todas as unidades e as instalações pelas quais a água para o consumo humano passa a denominar-se Sistema de Abastecimento de Água [1].

Segundo estudos, a maioria dos hidrômetros instalados nos imóveis atuam na escala de 3 m³/h ou inferior. Relata-se que, na cidade de Campinas (estado de São Paulo, Brasil), 70% das ligações prediais são providas de hidrômetros com vazão nominal (Qn) de 0,75 m³/h, o que representa 175 mil hidrômetros [2].

Alguns problemas podem surgir em decorrência da utilização de medidores de água cada vez mais sensíveis. É conveniente que os medidores sejam retirados periodicamente, examinados, reajustados ou substituídos, para uma nova etapa de trabalho, o que evitaria assim prejuízos à concessionária dos serviços de saneamento ou aos usuários [3].

Recentemente, o país sofreu uma grave crise hídrica com falta de água em diversas regiões. Essa crise evidenciou uma possível deficiência dos hidrômetros, que não recebiam grande importância nas pesquisas. Os hidrômetros que deveriam medir o volume de água consumido também são sensíveis ao fluxo de ar [4]. Portanto, mesmo não havendo disponibilidade de água para o consumo, caso uma torneira seja aberta, o hidrômetro registra uma variação no volume medido. Esse fato foi

percebido por consumidores, o que levou a reclamações e denúncias, normalmente divulgadas nas redes sociais; noticiários e jornais aumentaram a repercussão do problema [4].

A falta de água cria diferenças de pressão na tubulação. A distribuição de água em condições normais ocorre na situação de pressão positiva, isto é, quando a pressão no interior da tubulação é maior que a pressão fora (pressão atmosférica). Quando a pressão externa à tubulação é maior, ocorre pressão negativa e, conseqüentemente, há entrada de ar na rede de distribuição [5].

A entrada de ar na tubulação depende diretamente da mistura ar-água. Quando no interior das tubulações, o ar pode se misturar de seis formas diferentes com a água, depende da inclinação da tubulação [5], como mostra a figura 1. O formato da distribuição de ar na mistura ar-água influencia a velocidade de deslocamento do ar pela tubulação, e a remoção do ar de tubulações só ocorre a partir de uma velocidade mínima [6].

As concessionárias de distribuição de água instalam dispositivos automáticos para o controle da entrada e saída de ar das tubulações; entretanto, em algumas situações, ocorrem falhas nesses equipamentos [7], tais como: dispositivos controladores em quantidades ou posições inadequadas; ampliação ou reforço do sistema de distribuição sem reprojeter a quantidade e o posicionamento dos equipamentos de controle, bem como falta de manutenção dos controladores.

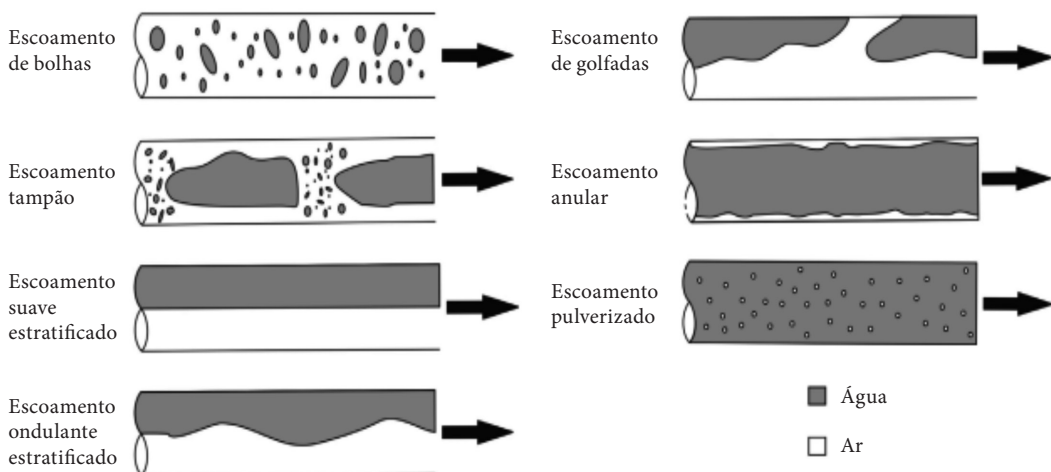


Figura 1. Padrões de escoamento da mistura ar-água em tubulações horizontais na rede de distribuição

Fonte: [5]

Uma solu33o apontada para o problema, ilustrado na figura 1, 3 a instala33o de eliminadores de ar que, por sua vez, s3o instalados antes do hidr3metro para retirar o ar da tubula33o. Entretanto, esses dispositivos podem n3o ter benefcio para o consumidor e ser prejudicial ao sistema de abastecimento, conforme pesquisas desenvolvidas por [7]-[9]. Constatou-se tamb3m que, quanto menor o consumo do usu3rio, maior poder3 ser a influ3ncia do ar no valor final da conta mensal [9]. Outra solu33o proposta 3 a instala33o de bloqueadores de ar que impedem a passagem deste. Por3m, o bloqueador de ar, al3m de possuir baixa efici3ncia, tamb3m pode contribuir para que bols3es de ar voltem para a rede de abastecimento [6].

Dessa forma, faz-se necess3rio investigar melhor a qualidade metrol3gica do medidor de 3gua e seu correto funcionamento, bem como a sua sensibilidade perante a exist3ncia de ar no sistema de abastecimento. Este artigo tem como objetivo investigar e medir a sensibilidade dos hidr3metros residenciais ao fluxo de ar.

2. Materiais e m3todos

2.1 Montagem

O sistema experimental em escala de bancada (figura 2) 3 constitu3do por dois reservat3rios de 3gua

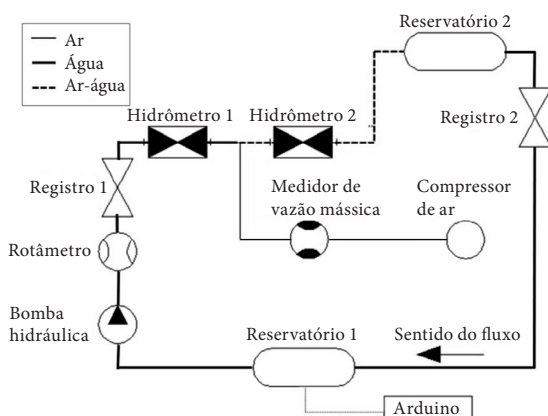


Figura 2. Esquema do sistema experimental composto por um sistema hidr3utico em malha fechada

Fonte: elabora33o pr3pria

com capacidade de 50 litros, um sensor de n3vel ultrass3nico e outro potenciom3trico, uma bomba hidr3utica de $\frac{1}{4}$ cv, um rot3metro, um registro e um compressor de ar. Possui tamb3m dois hidr3metros: em um h3 fluxa de 3gua (hidr3metro 1) e, em outro, outro h3 mistura de ar-3gua (hidr3metro 2). Os sensores de n3vel ultrass3nico e potenciom3trico est3o fixos dentro do reservat3rio 1.

O rot3metro mede a vaz3o de 3gua, controlada pelo registro 1, de modo que esta seja adequada para ser medida pelos hidr3metros. O compressor injeta ar no sistema, e um medidor de vaz3o m3ssica indica a quantidade de ar comprimido que est3 sendo inserida. O registro interno do compressor permite o controle do fluxo. O microcontrolador processa as informa33es recebidas dos sensores ultrass3nico e potenciom3trico do reservat3rio 1.

2.2 Sensoriamento

O sensor ultrass3nico utilizado 3 o HC-SR04, que, segundo o manual do fabricante, tem capacidade de medir objetos 3 dist3ncia de 2 a 400 cm, sendo utilizado em conjunto com a biblioteca NewPing do microcontrolador arduino.

O sensor potenciom3trico 3 baseado em uma resist3ncia vari3vel que, por sua vez, foi fixado em uma haste met3lica com uma boia na sua extremidade. A varia33o da altura da coluna de 3gua altera a resist3ncia e, conseq3entemente, a tens3o medida pelo microcontrolador.

O rot3metro 3 utilizado para controlar o fluxo de 3gua e manter o seu n3vel constante, bem como para calcular o volume total de 3gua injetada no sistema e, ent3o, comparar ao medido pelo hidr3metro 1.

Os hidr3metros utilizados s3o do tipo velocim3tricos unijato (fabricante Actaris, modelo Unimag), com vaz3o nominal Q_n de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, e atendem 3s normas do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) [10]. Os hidr3metros est3o ligados em s3rie por meio de uma conex3o tipo "T" para a inje33o de ar.

A medi33o da vaz3o de ar injetado no sistema 3 feita por meio do sensor de vaz3o m3ssica (fabricante Omega, modelo FMA-A2322) e conectado por meio de uma mangueira de 8 mm de di3metro ligada a duas v3lvulas, uma delas controla a press3o e outra evita que vest3gios de 3gua entrem em contato com a c3mara de ar do compressor. O sensor 3 altamente sens3vel 3 vaz3o, com exatid3o de $\pm 1\%$ (FS), repetibilidade de $\pm 0,15\%$ FS e tempo de resposta de 5 s.

2.3 Medições

Uma vez que o volume de água e ar no sistema são conhecidos, a quantidade de ar medido pelo hidrômetro 2 foi determinada por meio da diferença das medições entre os dois hidrômetros, em que um deles é exposto somente ao fluxo de água. Calibrações dos hidrômetros, rotâmetro e do medidor de fluxo de ar foram necessárias.

Primeiramente, determina-se a relação entre o volume de água medido pelo hidrômetro e o volume estimado a partir do fluxo medido pelo rotâmetro de acordo com a equação (1), em que V_{rot} é o volume estimado a partir do rotâmetro [m³], φ_{rot} a vazão volumétrica medida pelo rotâmetro [m³/h] e Δt o intervalo de tempo em que ocorre a medição [m³]. A vazão é mantida constante através do registro 1.

$$V_{rot} = \varphi_{rot} \cdot \Delta t$$

Para conhecer a sensibilidade do hidrômetro 2 apenas quanto à passagem de ar, a bomba hidráulica é desligada, e o registro junto ao rotâmetro, fechado; então, apenas o ar comprimido é injetado no sistema durante dez minutos. Por meio do valor medido de vazão de ar e do intervalo de tempo, é calculado o volume de ar injetado no sistema e, em seguida, comparado com a medição feita pelo hidrômetro.

Com a finalidade de verificar a medição da mistura ar-água pelo hidrômetro, a bomba hidráulica é ligada injetando água do reservatório 1 nas tubulações. Nessa etapa, o rotâmetro mede a vazão de água injetada pela bomba, e o registro 1 mantém a vazão nominal máxima do hidrômetro em 1,5 m³/h. O ar comprimido é inserido na tubulação, e o volume da mistura água-ar é medido pelo hidrômetro 2.

3. Resultados

Considerando o sistema sem a presença de água e utilizando o medidor de vazão mássica, obtiveram-se os valores médios em cada instante de tempo para as vazões de ar, conforme mostra o gráfico de linha contínua da figura 3. Utilizando o método de integração numérica trapezoidal, calcula-se o volume de ar inserido no sistema; este é igual a 601,1 litros

aproximadamente. Com a leitura dos hidrômetros no início e no final de cada uma das medições, obteve-se uma leitura média diferencial de 462,5 litros de ar, ou seja, aproximadamente 77% de todo o ar injetado no sistema.

Para conhecer a relação entre o volume estimado de água pelo rotâmetro e o volume medido pelo hidrômetro, a vazão da bomba hidráulica é fixada em aproximadamente 0,4 m³/h, e a injeção de ar é interrompida por 10 minutos. O resultado mostra um volume estimado de 66,7 litros e 63,0 litros quando medido pelo hidrômetro.

A fim de medir a mistura ar-água pelo hidrômetro 2, são ligados a bomba hidráulica e o compressor de ar durante dez minutos. A vazão de ar varia aproximadamente de 81 a 40 L/min (litros por minuto). A figura 3 mostra a resposta temporal da vazão de ar no sistema na presença d'água. Por meio de integração numérica trapezoidal, a quantidade de ar injetado no sistema foi 586,3 litros. A vazão de água, segundo o rotâmetro, manteve-se constante em 0,4 m³/h durante dez minutos, o que resultou em aproximadamente 66,7 litros. O hidrômetro 1 (=água) registrou, em média, 54 litros, enquanto 258 litros registrado pelo hidrômetro 2 (=mistura ar-água). Os valores medidos são mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Valores medidos de volume em três situações: apenas ar (1), apenas água (2) e mistura ar-água (3). H1 e H2 são os hidrômetros 1 e 2, respectivamente

Situação	Ar [litros]	Água [litros]	Medição H1 [litros]	Medição H2 [litros]
1	601,1	0,0	0,0	462,5
2	0,0	66,7	63,0	63,0
3	586,3	66,7	54,0	258,0

Fonte: elaboração própria

Pôde ser observado na tabela 1 que a porcentagem de ar medido no hidrômetro 2 é de 76,9% na situação 1 e 94,4% na situação 2 para medida de água pelos hidrômetros. Caso o sistema fosse ideal, o valor medido nos hidrômetros deveria ser 76,9% dos 586,3 litros de ar e 94,4% dos 66,7 litros de água, ou seja, 513,7 litros. Considerando o total de 653,0 litros de ar e água injetados no sistema na situação 3, observa-se que o hidrômetro 2 mede somente 258,0 litros que, por sua vez, corresponde a 39,5% do volume total injetado.

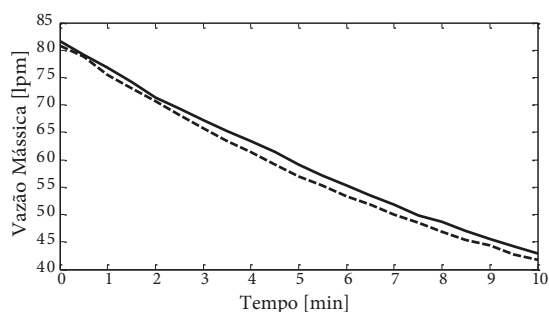


Figura 3. Resposta temporal da vaz3o de ar no sistema, em que a curva cont3nua 3 a resposta do sistema sob influ3ncia apenas de ar e a curva tracejada para o sistema com presen7a de 3gua

Fonte: elabora73o pr3pria

4. Discuss3es

Acredita-se que as diferen7as no comportamento do sistema, diante da presen7a da mistura ar-3gua, foram causadas pelo fato de os hidr3metros terem sido fixados muito pr3ximos da entrada de ar. Desse modo, especula-se que uma parte do volume injetado de ar pode ter escoado em dire73o contr3ria ao esperado, ou seja, em dire73o ao hidr3metro 1. Cabe mencionar que essa especula73o dever3 ser objeto de investiga73o nos pr3ximos trabalhos. Apesar de o hidr3metro 1 ter medido 12,7 litros de 3gua a menos que o esperado, n3o se pode afirmar que essa medi73o seja verdadeira, pois uma certa quantidade de ar pode ter passado por ele no sentido contr3rio ao fluxo, al3m do que os hidr3metros possuem erros de 15,5 a 100% na opera73o reversa [11].

Resultados similares foram encontrados por Mello em 2001 [9], quando um experimento que simulou falta no abastecimento de 3gua diariamente detectou um volume total de ar de 36% do volume fornecido. Trabalhos conduzidos por Miranda em 2013 [1] concluíram que a influ3ncia do ar nas medi73es realizadas nos hidr3metros cresceu linearmente com a porcentagem de ar na mistura ar-3gua e que uma mistura de ar de 16,54% do volume de 3gua levou a um erro de medi73o de 15%. Segundo ainda esses autores, ensaios realizados sem adi73o de ar levaram a um erro de $\pm 2\%$ na medi73o entre o hidr3metro e o rot3metro utilizado como refer3ncia.

Miranda em 2011 [12], utilizando medidores eletromagn3ticos para calcular o fluxo de ar em tubula73es,

verificou que o hidr3metro 3 o elemento mais sens3vel do sistema.

3 importante ser destacado que o ar pode chegar ao consumidor em forma de microbolhas (aspecto leitoso da 3gua) ou bolhas maiores (vis3veis) e estas n3o foram investigadas e medidas neste trabalho.

5. Conclus3o

Portanto, a fim de melhorar a exatid3o de medi73o do sistema, sugere-se o uso de tr3s man3metros, um antes dos hidr3metros, um na entrada de ar e outro ap3s os hidr3metros que, por sua vez, devem estar distantes entre si, com o objetivo de diminuir poss3veis interfer3ncias da redistribui73o das linhas de fluxo de ar ao serem inseridos na tubula73o por uma conex3o do tipo "T". Foi observado que 3 importante utilizar uma v3lvula que consiga manter a vaz3o de ar constante durante os testes.

Como foi mostrado nos resultados, ainda que preliminares, o hidr3metro tem uma sensibilidade significativa 3 presen7a de ar sob determinadas condi73es, como tamb3m concluído nos estudos de Lopes, Lara e Lib3nio [6]. O problema merece aten73o das companhias de distribui73o de 3gua, pois a quantidade de ar medida pode impactar de maneira significativa na conta de 3gua do consumidor final.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio institucional da Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc) e o apoio financeiro da Funda73o Instituto Tecnol3gico de Joinville (FITEJ).

Refer3ncias

- [1] I. S. L. Miranda, F. C. Tonial, J. C. Kuritiza e M. G. Marques, "Presen7a de ar no sistema de abastecimento de 3gua: influ3ncias no funcionamento de hidr3metros", em *Simp3sio Brasileiro de Recursos H3dricos*, Bento Gon7alves, nov. 2013, p. 17-22. [On-line]. Dispon3vel em: https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/6b5acb09a6f7970b7710773bfcfc8b31_86712b6a-2927dd4d9398884e4692b3ee.pdf

- [2] M. A. Garcia, “Análise do desempenho em campo de hidrômetros Qn 0,75 m³/h”, apresentado na 39^a *Assembleia Nacional da Assamae*, Gramado. Anais eletrônicos, Brasília: Assamae, 2009, 10p.
- [3] M. T. Tsutiya, *Abastecimento de Água*. 3^a ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004, 643 p.
- [4] G. Brito e P. Silva Junior. “Brasil: Estado mais importante do país sofre crise hídrica”. *Correio da Cidadania*, jan. 2015. [On-line]. Disponível em: <http://cartamaior.com.br/?/Editoria/Cidades/Brasil-Estado-mais-importante-do-pais-sofre-crise-hidrica/38/32762>
- [5] H. T. Falvey, “Air-water Flow in Hydraulic Structures”, *USBR Eng. Monography*, n. 41, 1980. [On-line]. Disponível em: http://www.arlis.org/docs/vol2/hydropower/APA_DOC_no_899.pdf
- [6] N. P. Lopes, M. Lara e M. Libânio, “Quantificação em Escala de Bancada do Volume de Ar em Ligações Prediais de Água”, *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 16, n. 4, nov. 2011, p. 343-352. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522011000400005>
- [7] R. S. Souza, M. Polizer, M. A. C. Rondon, L. A. A. Val e J. Gonda, “Avaliação da influência de um equipamento eliminador de ar na medição de consumo de água numa rede de distribuição”, apresentado no 23^o *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campo Grande. Anais Abes, 2005, p. 1-11. [On-line]. Disponível em: http://www.mediafire.com/view/l1mmnywtom2/I-063_avaliacao+eliminadores.pdf
- [8] F. C. T. Leal e J. C. Teixeira, “Avaliação da eficácia e da possibilidade da contaminação da água em eliminadores de ar fabricados em polipropileno, quando instalados em cavaletes de ligações de água potável — estudo de caso: Juiz de Fora- MG”, apresentado no *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, set. 2004, v. 9, n. 3, p. 187-192. [On-line]. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522004000300003&script=sci_arttext
- [9] E. J. Mello e R. L. Farias, “O ar e sua influência na medição do consumo de água”, apresentado no 21^o *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. João Pessoa, 2001. [On-line]. Disponível em: <http://www.mediafire.com/view/gmljettmht4/i-001ar.pdf>
- [10] Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), 2000. *Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio*. Portaria 246 de 17 de outubro de 2000.
- [11] P. S. Scalize e W. C. A. Leite, “Variação da Micromedição do consumo de Água no Funcionamento Correto e Reversível do Hidrômetro”, *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 6, n. 1, 2013. [On-line]. Disponível em: <http://revistas.ufg.br/index.php/reec/article/view/21240/13102>
- [12] I. S. L. Miranda, “Presença de ar no sistema de abastecimento de água: influências na macro e micromedição”. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil 2011. [On-line]. Disponível em: http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34404/000789709.pdf?sequence=1&locale=pt_BR