

Solução de Baixo Custo para Parametrização Remota de Medidores de Vazão Eletromagnéticos

Title: Low Cost Solution for Remote Parameterization of Electromagnetic Flow Meters

Maria Regina Fragoso dos Santos  orcid.org/0000-0001-8942-1626

Gustavo Oliveira Cavalcanti ¹  orcid.org/0000-0001-9859-908X

Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil,

E-mail do autor principal: Maria Regina regina_santos@outlook.com

Resumo

No sistema de distribuição de água, os conversores de vazão calculam o fluxo a partir de sinais elétricos provenientes dos sensores instalados na tubulação. Os conversores são importantes para identificação de vazamentos e faturamento das empresas de distribuição, por isso são frequentemente calibrados. Na calibração, uma segunda medição da vazão é realizada para comparação com o valor apresentado pelo conversor e ajuste dos parâmetros internos do equipamento. Dois modelos comumente utilizados são o MagMaster da ABB e o Waterflux 3070 da Krohne, que para parametrização necessitam ser conectados a um computador. Como os conversores e o sensor que realiza a segunda medição de fluxo não ficam fisicamente na mesma instalação, podendo até estar em locais de difícil acesso, como à beira de estradas, rios e córregos, a calibração pode trazer riscos aos operadores. Para resolver este problema foi desenvolvido um dispositivo eletrônico de baixo custo que ao ser conectado a um conversor de vazão permite realizar a parametrização por meio de um smartphone. Assim, o dispositivo é conectado ao conversor de vazão e o técnico consegue configurá-lo a uma distância de até 10m, com uma autonomia de 25 horas. Os resultados mostraram que a equipe consegue parametrizar o conversor pelo smartphone, em local mais seguro, sem a utilização de um computador e sem precisar trocar o conversor por um modelo que já tenha comunicação sem fio.

Palavras-Chave: Bluetooth; Medição de vazão; Aplicações móveis; Monitoramento remoto.

Abstract

In the water distribution system, flow converters calculate the flow from electrical signals from sensors installed in the pipeline. Converters are important for identifying leaks and billing from distribution companies, so they are frequently calibrated. In the calibration, a second flow measurement is performed to compare with the value presented by the converter and adjust the internal parameters of the equipment. Two commonly used models are ABB's MagMaster and Krohne's Waterflux 3070, which for parameterization related to being connected to a computer. As the converters and the sensor that performs the second flow measurement are not physically located in the same installation, and may even be in places of difficult access, such as the side of roads, rivers and streams, the calibration can bring risks to operators. To solve this problem, a low-cost electronic device was developed that, when connected to a flow converter, allows parameterization through a smartphone. Thus, the device is connected to the flow converter and the technician is able to configure it at a distance of up to 10 m, with an autonomy of 25 hours. The results showed that the team is able to parameterize the converter by the smartphone, in a safer place, without the use of a computer and without to change the converter for a model that already has wireless communication.

Keywords: Bluetooth; Fluid flow measurement; Mobile applications; Remote monitoring.

1 Introdução

O monitoramento e controle do sistema de distribuição de água é comumente realizado com o auxílio de medidores de vazão eletromagnéticos, que tem como base a lei da indução eletromagnética de Faraday [1]. O MagMaster da ABB [2] e o Waterflux 3070 da Krohne [3] são modelos comumente utilizados, e por não possuir teclado frontal, a parametrização é realizada com o auxílio de um computador conectado ao conversor de fluxo pela interface RS-232, como ilustrado na Figura 1.

Os sistemas de medição de vazão são de extrema importância para o controle e monitoramento do sistema de distribuição de água. O seu acompanhamento adequado permite a descoberta de vazamentos, desvios e um faturamento adequado. Por isso os medidores de vazão e seus conversores passam por constante manutenção e parametrização. Essas operações são realizadas com o auxílio de um Notebook, como ilustrado na Figura 1, exigindo que o operador esteja próximo ao conversor.

Como os conversores podem estar em locais de difícil acesso como à beira de estradas, rios e córregos, essas operações podem trazer riscos aos operadores. Além disso, as empresas precisariam dispor de notebooks para todas as equipes de manutenção, sob pena de afetar o controle de produção e distribuição.

Outra dificuldade associada ao modelo de medidor mencionado ocorre na calibração. Para tal, além da configuração no conversor, ilustrado na Figura 1, emprega-se uma segunda medição realizada na estação pitométrica, que é uma instalação temporária e utiliza calibradores de diâmetros e tubo Pitot para medir a velocidade do curso da água, conforme ilustrado da Figura 2. Estas duas instalações precisam ser monitoradas simultaneamente e são separadas fisicamente.

Para solucionar as dificuldades citadas foi desenvolvida uma interface eletrônica que permite realizar a parametrização do conversor de fluxo por meio de um aplicativo para Android em um smartphone. Assim, o dispositivo de baixo custo foi construído e instalado em conversores de fluxo reduzindo o tempo de configuração, evitando o uso de notebooks, deixando a operação mais segura e permitindo que a equipe fique na estação pitométrica e configure o conversor a distância durante a calibração.

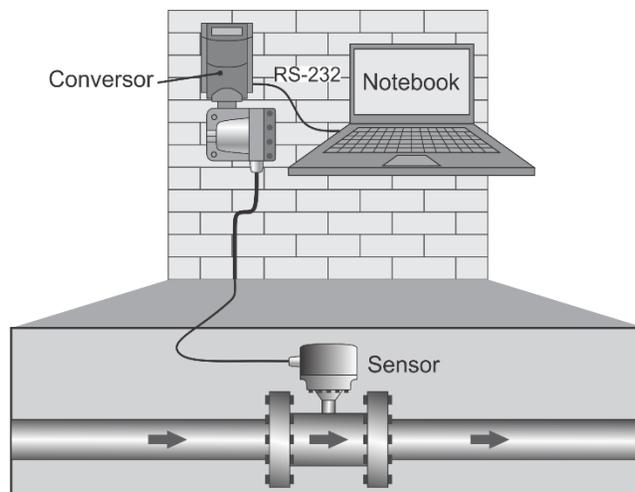


Figura 1: Configuração para parametrização dos conversores de fluxo utilizando Notebook. Fonte: Autor.

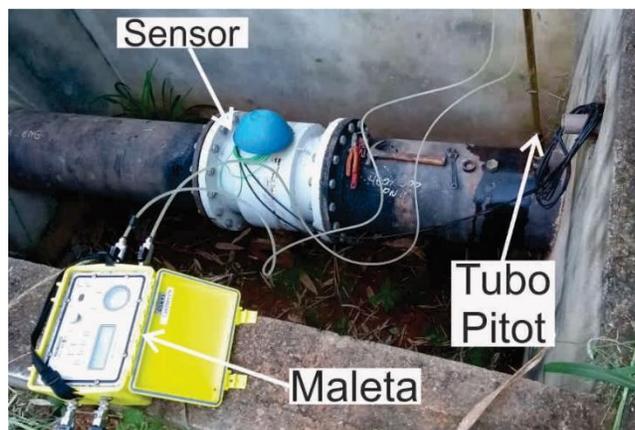


Figura 2: Estação pitométrica e sensor de vazão. Fonte: Autor.

2 Materiais e Métodos

O presente trabalho descreve a construção de uma interface eletrônica e de um aplicativo para smartphone denominados Flowmobbi e FlowMobbiApp, respectivamente. A interface eletrônica é conectada ao conversor de fluxo por meio da interface RS-232, como ilustrado na Figura 3, e converte o sinal do padrão serial para os níveis de tensão TTL [4], permitindo a comunicação com o módulo Bluetooth HC-05 [5]. Assim, o conversor de fluxo pode ser configurado com o auxílio de um Smartphone, no qual fica instalado um aplicativo também desenvolvido para este trabalho.

O aplicativo funciona como interface, na qual é possível ter acesso aos valores de medição de vazão, além dos parâmetros de configuração do conversor, necessários para realizar a parametrização no sistema

de medição. O sistema desenvolvido é simples, com circuitos básicos, porém a aplicação descrita neste trabalho é inovadora e permite atualizar os conversores antigos para a tecnologia Bluetooth.

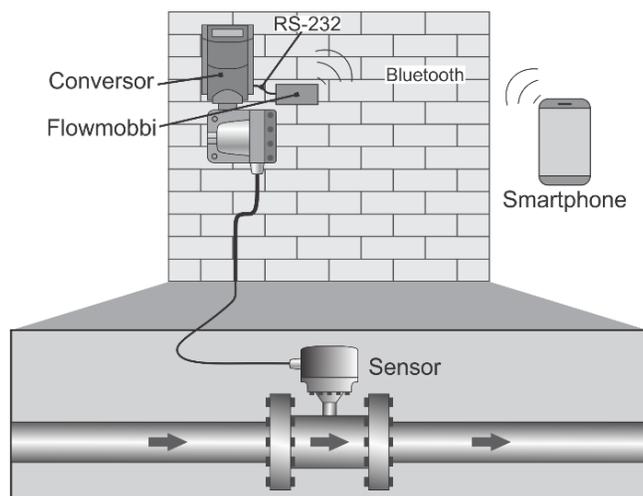


Figura 3: Configuração para parametrização dos conversores de fluxo utilizando Smartphone. Fonte: Autor.

O desenvolvimento de dispositivos e técnicas para implementar melhorias no sistema de distribuição de água evita a substituição de aparelhos antigos já instalados e reduz o custo de implementação das melhorias [6 - 8]. O monitoramento e controle de dispositivos a distância podem ser realizados com o emprego de smartphones, no qual a comunicação pode ser realizada por meio da tecnologia Bluetooth [9]. Além disso, o uso da tecnologia eleva a capacidade de explorar com eficiência os recursos hídricos disponíveis [10].

O controle remoto de Robôs [11], dispositivos eletrônicos [12] e laboratórios [13 - 14] é uma realidade. A migração do sistema de parametrização do conversor de fluxo para a comunicação Bluetooth possibilitará o controle remoto desses parâmetros. Esse controle é importante para a implementação de técnicas que levam a economia no consumo de energia elétrica [15], a verificação da eficiência dos locais de medição estratégicos definidos pelos modelos hidráulicos calibrados da rede de água [16], utilização de técnicas de inteligência artificial como suporte à decisão em tempo real para gestão de água [17], possibilita a implementação de sistemas de controle automático que são considerados como uma

alternativa para aumentar o baixo desempenho das operações manuais tradicionais [18].

Além disso, em atividades que envolvem risco a saúde humana robôs controlados a distância são utilizados para realizar tarefas, podendo transmitir vídeo em tempo real para acompanhamento do trabalho que está sendo executado [11]. Nesse contexto, a configuração remota do conversor de fluxo evita colocar o técnico em região de difícil acesso como à beira de estradas, rios e córregos. A seguir descreve-se o sistema de medição de vazão, os padrões de comunicação utilizados, bem como os detalhes de construção do Flowmobbi e do FlowMobbiApp.

2.1 Sistema de Medição de Vazão

Os medidores de vazão podem ser classificados de acordo com o sinal de saída do sensor como lineares e não lineares [19]. Os medidores lineares possuem maior aplicação prática por produzirem uma tensão de saída linear em relação a vazão. Os principais medidores lineares de vazão são: de área variável, de turbina, de vórtice, eletromagnético, magnético e ultrassônico [19]. Os sensores de vazão MagMaster da ABB [2] e Waterflux 3070 da Krohne [3], que são comumente utilizados pelas empresas de distribuição, são de princípio eletromagnético e ficam em contato direto com a variável a ser medida, no caso a água, e não possui partes móveis no seu interior.

Devido ao ambiente adverso em que ficam as tubulações, tais como, soterradas ao longe de avenidas, próximo à rios e córregos, a maioria dos sistemas de medição empregados são remotos, com um cabo para conectar o sensor ao conversor de vazão remotamente, como ilustrado na Figura 1. Desta forma, o sensor e o conversor ficam instalados em locais distintos. No conversor é possível realizar a leitura da vazão no local, pelo seu display. Contudo para realizar configurações e calibrações do sistema, é necessário usar a porta serial, com o padrão RS-232.

Para verificar o correto funcionamento do conversor de vazão uma equipe de técnicos realiza a leitura de vazão em uma estação pitométrica, como apresentado na Figura 2 e compara os valores com os medidos pelo conversor. O tubo Pitot mede a diferença de pressão entre uma tomada estática e uma dinâmica que está na direção do fluxo de água. A

partir dessa diferença e de outras variáveis, tais como, densidade, temperatura, viscosidade, área da tomada, rugosidade da tubulação, cujos sensores ficam na maleta, apresentada na Figura 2, é possível estimar a velocidade do fluido na tubulação.

Caso o fluxo medido pela estação pitométrica seja diferente do apresentado pelo conversor este último é reconfigurado com o auxílio de um notebook, como apresentado na Figura 1. Com o sistema desenvolvido a configuração do conversor pode ser feita da própria estação pitométrica com o auxílio de um Smartphone, conforme Figura 3.

2.2 Padrões de Comunicações

Os conversores de vazão têm comunicação externa no padrão RS-232, é full-duplex e uma de suas conexões utiliza o DB-9, que possui 9 pinos, entre eles, RxD para recepção, TxD para transmissão e os demais destinados a confiabilidade. Esse padrão utiliza níveis de tensão entre -3V a -15V para níveis altos e entre 3V a 15V para níveis baixos, entre -3V a 3V são níveis de transição.

O objetivo do Flowmobbi é receber os dados pelo DB-9 no padrão serial RS-232 e transmitir na tecnologia Bluetooth para comunicação do conversor com o Smartphone. Entretanto, a maioria dos dispositivos eletrônicos disponíveis para tecnologia Bluetooth estão padronizados utilizando de 0 a 0,8V para níveis baixos e de 2 a 5V para níveis altos, conhecidos como padrão TTL. Como não existe uma correspondência entre os níveis de tensão dos padrões RS-232 e TTL é realizada uma conversão entre os sinais utilizando o chip MAX-232 [4].

O padrão sem fio escolhido para o Flowmobbi foi o Bluetooth, por ser de baixo custo quando comparado a transmissores de rádio frequência, por exemplo, baixo consumo, cerca de 50 mW, distância de alcance adequada a aplicação, que precisa de menos de 10m e possibilita a utilização de Smartphones como dispositivo final de configuração. O Bluetooth opera em transmissão full duplex, realizada por meio de ondas de rádio com frequências entre 2,4 a 2,485 GHz [20]. Na sequência, descreve-se a construção do sistema remoto de parametrização.

3 Resultados e Discussão

O sistema remoto de parametrização possui um dispositivo eletrônico (Flowmobbi) e um aplicativo Android (FlowMobbiApp), que foram desenvolvidos com plataformas gratuitas, circuitos comerciais de

baixo custo e utilizando padrão de comunicação sem fio Bluetooth. A seguir detalha-se o sistema remoto de parametrização, o dispositivo eletrônico construído e o aplicativo Android desenvolvido especificamente para este trabalho.

3.1 Sistema Remoto de Parametrização

Para realizar a parametrização o Flowmobbi é conectado ao conversor de vazão, por intermédio da interface de comunicações RS-232, e com o FlowMobbiApp é possível trocar informações com o conversor, como ilustrado na Figura 4.

O Flowmobbi se comunica com o conversor de vazão através do padrão serial RS-232, realiza a conversão RS-232 / TTL e envia os dados ao módulo Bluetooth HC-05 [5] que se comunica o smartphone pelo FlowMobbiApp, conforme ilustrado na Figura 4. Essa comunicação é bidirecional e permite parametrizar todas as funções do conversor, além de ter acesso ao valor das medições de vazão e totalização atuais.

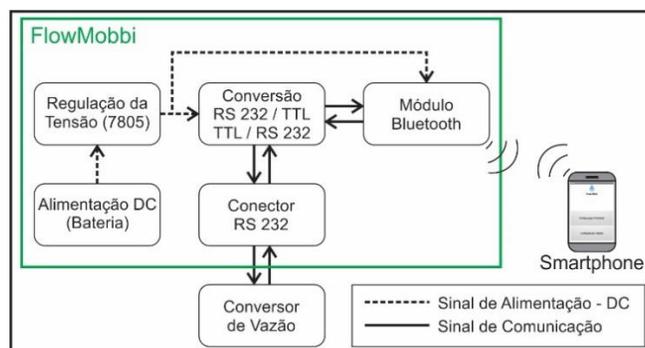


Figura 4: Diagrama em blocos do sistema de parametrização. Fonte: Autor

A alimentação do conversor RS-232 e do módulo Bluetooth, representada na Figura 4 pelas setas pontilhadas, é realizada com o auxílio de uma bateria 9V e um regulador de tensão que mantém a tensão constante no valor de 5V, necessário para o funcionamento do Flowmobbi.

3.2 Dispositivo Eletrônico: Flowmobbi

O FlowMobbi é alimentado por uma bateria de 9V, cujo terminal positivo é conectado a uma chave Liga/Desliga, a um Led para sinalizar que o dispositivo está ligado e a um regulador de tensão 7805 [21], conforme ilustrado na Figura 5. O regulador fornecer

a tensão de 5V na saída, necessária para a alimentação dos demais componentes do FlowMobbi. A chave de liga/desliga foi empregada para evitar que bateria descarregue rapidamente por alimentar o circuito continuamente. Por ser um dispositivo portátil a chave só é habilitada após ser conectada ao conversor de fluxo instantes antes de iniciar a parametrização no medidor.

O chip MAX-232 converte o padrão de comunicações serial RS-232, que provém do conversor de vazão, para os níveis de tensão TTL [4], necessários ao módulo Bluetooth HC-05, conforme esquema elétrico apresentado na Figura 5. Os capacitores ilustrados na Figura 5 são necessários para o funcionamento adequado do MAX-232 e têm seus valores tabelados pela TEXAS INSTRUMENTS [4]. Para efetuar as comunicações entre o medidor de vazão e o Flowmobbi, um conector DB-9 é interligado ao MAX-232, conforme ilustrado na Figura 5.

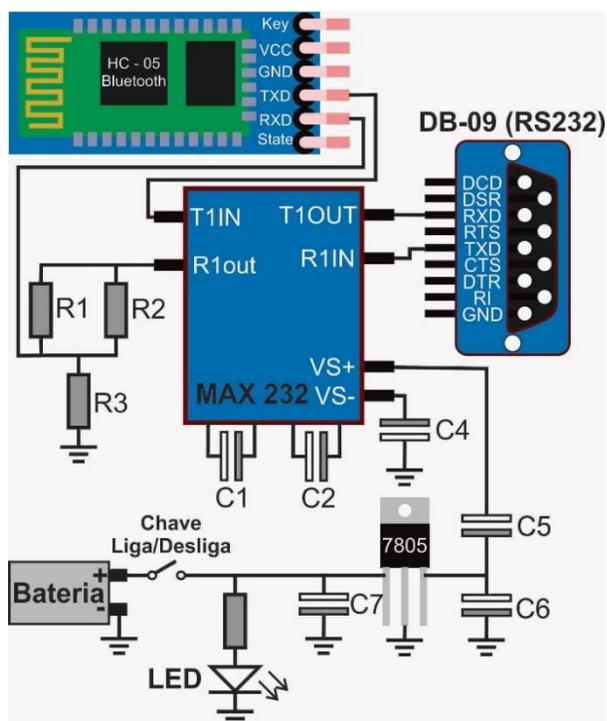


Figura 5: Esquema elétrico do FlowMobbi. Fonte: Autor

A saída do MAX-232 (R1_{Out}), ilustrada na Figura 5, é padrão TTL com 5V de tensão, entretanto, o módulo Bluetooth, precisa de uma tensão de 3,3V, no seu conector de recepção (RXD), dessa forma foi utilizado um divisor de tensão com os resistores R1, R2 e R3. Para proteção das conexões e maior durabilidade do

dispositivo o circuito apresentado na Figura 5 foi implementado em uma placa de circuito impresso e junto com os componentes foram acondicionando em uma caixa plástica protetora, conforme apresentado na fotografia da Figura 6.

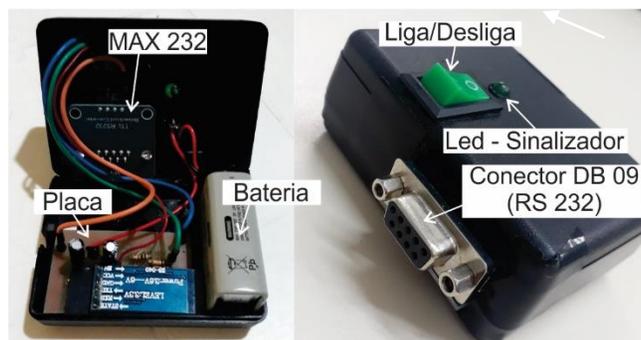


Figura 6: Fotografia do Flowmobbi, Dispositivo de conversão montado. Fonte: Autor

A Figura 6 apresenta o dispositivo FlowMobbi que foi fabricado e instalado em dois medidores sendo um MagMaster da ABB [2] e outro da Waterflux 3070 da Krohne [3]. Os dispositivos foram fabricados na Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco a um custo aproximado para os materiais de R\$ 75,00. Os testes realizados mostraram funcionamento adequado do dispositivo e a parametrização desses dois conversores passou a ser realizada pelo FlowMobbi, a uma distância de até 10m [5]. O FlowMobbi tem consumo de potência de aproximadamente 100 mW, o que lhe confere uma autonomia de mais 25 horas transmitindo com uma bateria 9V de 500 mAh.

Para que as comunicações entre um dispositivo e o módulo Bluetooth ocorram de forma correta, é necessário que ambos estejam configurados com o mesmo valor de taxa de transmissão de dados, conhecido por baud rate. Como a taxa de transmissão dos conversores eletromagnéticos de fluxo utilizados para os testes eram de 4800 baud, os módulos HC-05 foram configurados para essa taxa entrando no modo de configuração do módulo Bluetooth com o auxílio do software *Termite* [22]. Nesse modo as configurações do HC-05 são alteradas por comandos AT [5].

O módulo Bluetooth HC-05 possui uma senha, necessária para dar início ao seu pareamento. Assim, cada dispositivo FlowMobbi possui uma senha de segurança para evitar que pessoas desautorizadas

possam utilizar o equipamento. Vale salientar que o dispositivo não deve ser deixado permanentemente no conversor de fluxo e sim conectado no início da parametrização e retirado ao final. Isso evita que o dispositivo seja alvo de vandalismo, ou ainda que seja utilizado para configuração indevida do conversor, o que levaria à prejuízos financeiros das companhias que empregassem o equipamento.

3.3 Aplicativo Android: FlowMobbiApp

Os smartphones, por praticidade, foram escolhidos como ferramenta para configuração dos medidores de fluxo. Para isso foi desenvolvido um aplicativo para Android na plataforma MIT App Inventor, que é gratuita. A plataforma usa uma interface gráfica que permite aos usuários criar aplicações arrastado e soltando objetos visuais em sua área de trabalho [23].

Com o auxílio da plataforma MIT App Inventor foi desenvolvido um aplicativo com três telas, denominado FlowMobbiApp. A tela inicial do aplicativo, ilustrada na Figura 7, é chamada de Home e possui dois botões, para que o usuário possa escolher entre os dois tipos distintos disponíveis de configuração, Completa ou Rápida. Essas configurações se referem aos parâmetros do conversor de fluxo que podem ser alterados e estão descritas a seguir.

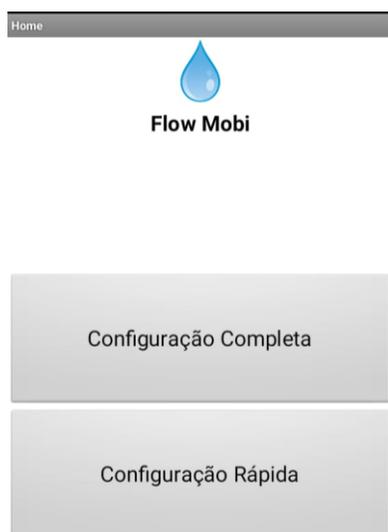


Figura 7: Tela Home do aplicativo. Fonte: Autor

Na configuração completa é permitido ao usuário acessar todo o menu de configurações do conversor de vazão, sendo possível realizar a leitura de valores

de vazão em tempo real e alterar seus parâmetros, tais como, correção, unidade de engenharia e variáveis disponíveis no display [2]. A Figura 8 apresenta a Tela de configuração completa, na qual por meio do botão *Menu* é possível configurar todas as variáveis disponibilizadas pelo Modelo do Conversor ao qual o FlowMobbi está conectado. A vantagem dessa configuração é que o profissional responsável tem acesso a todos os parâmetros do conversor.



Figura 8: Tela de configuração completa. Fonte: Autor

Na configuração rápida, cuja tela está apresentada na Figura 9, o usuário terá acesso apenas as funções essenciais necessárias para realizar uma configuração padrão para o funcionamento do sistema de medição. Ou seja, o usuário pode alterar o fator multiplicativo da vazão "K Fator" e verificar a vazão. A vantagem desta configuração é a maior rapidez, deixando a mostra apenas as configurações mais utilizadas



Figura 9: Tela de configuração rápida. Fonte: Autor

Após realizar a instalação do aplicativo no smartphone e sua configuração para comunicar com o módulo Bluetooth HC-05, é possível obter os dados do conversor, por intermédio das Interfaces ilustradas nas Figuras 7 e 8. Os comandos de parametrização são enviados por meio do aplicativo Android pelo smartphone quando se aciona o botão “Enviar”. Assim, as configurações seguem para o módulo Bluetooth e após a conversão dos níveis lógicos pelo Flowmobbi realiza a parametrização no conversor do medidor de vazão.

O Flowmobbi foi instalado em campo, conforme fotografia apresentada na Figura 10. As equipes relataram que após realizar o pareamento do smartphone com o Flowmobbi e o login de acesso ao conversor, tiveram acesso completo a todo o menu de configurações do conversor de vazão. Entre as configurações mais utilizadas foram: leitura de vazão, leitura de fator de correção, mudança no fator de correção e mudança de unidade de engenharia.

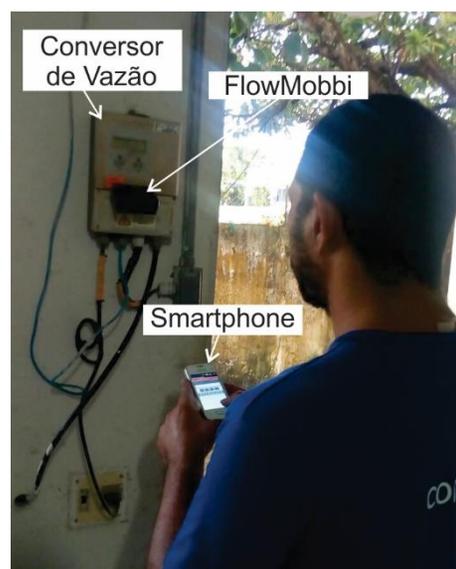


Figura 10: Parametrização em campo. Fonte: Autor

O tempo de execução das configurações depende da localização do conversor de vazão e do número de parâmetros que devem ser alterados. Os testes realizados em campo mostraram que a utilização do Flowmobbi leva a uma redução do tempo de execução da manutenção que é maior quanto maior for a dificuldade de acesso ao conversor de vazão. O maior ganho provocado pela utilização do Flowmobbi foi na mobilidade, pois permitiu que os técnicos responsáveis pela manutenção pudessem realizar a parametrização remotamente, trazendo mais conforto, segurança e melhores condições de trabalho para a atividade.

O sistema é muito mais barato para as companhias, do que a utilização de computadores portáteis, pelas equipes de campo, ou a substituição dos conversores por outro modelo já com comunicação sem fio, possibilitando assim uma economia com equipamentos.

4 Conclusões

Os testes em laboratório e em campo mostraram o funcionamento do sistema de parametrização remota para os medidores de fluxo que não possuem tecnologia de acesso remoto. O desenvolvimento dessa aplicação implicou em redução de gastos com computadores portáteis, redução do tempo de configuração dos medidores de fluxo, maior segurança da equipe durante a parametrização, além de evitar

que os operadores fiquem se deslocando entre o conversor de vazão e a estação pitométria.

Além disso, o Flowmobbi pode ser utilizado em outras aplicações que utilizem comunicações serial via RS-232 e precisem ser convertidas para níveis de tensão TTL afim de se comunicar usando o padrão Bluetooth. Podendo levar maior praticidade e segurança a outras aplicações.

Referências

- [1] Griffiths, David J. "Introduction to Electrodynamics" 3ª ed. Upper Saddle River NJ: Prentice Hall, 1999, pp. 301–303.
- [2] LIMITED, ABB. MagMaster Instruction Manual. Stonehouse Gloucestershire, Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/29e9709a43c1dfb3c1257b090058683d/IM_MM-SF_4.pdf>. Acesso em: 29 de abril de 2020. UK. 2005. 24 p.
- [3] KRONE. Waterflux 3070. Duisburg, Germany. 2012. 80 p. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/43192333-Waterflux-3070-463-manual.html>>. Acesso em: 29 de abril de 2020.
- [4] INSTRUMENTS, TEXAS. MAX232x Dual EIA-232 Drivers/Receivers. Dallas, Texas Instruments Incorporated, 2014. 26 p.
- [5] Manual do HC - 05. ITead Studio. Disponível em :< <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1418730/ITead/HC-05/1> >. Acesso em: 29 de abril de 2020.
- [6] C. Li, Y. Su, R. Yuan, D. Chu and J. Zhu, "Light-Weight Spliced Convolution Network-Based Automatic Water Meter Reading in Smart City," in IEEE Access, vol. 7, pp. 174359-174367, 2019.
- [7] S. Hsia, M. Sheu and Y. Chang, "Arrow-Pointer Sensor Design for Low-Cost Water Meter," in IEEE Sensors Journal, vol. 13, no. 4, pp. 1281-1287, April 2013
- [8] E. A. Ponce, S. B. Leeb and P. A. Lindahl, "Know the Flow: Non-Contact Magnetic Flow Rate Sensing for Water Meters," in IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 1, pp. 802-811, 1 Jan.1, 2021.
- [9] K. Balasubramanian and A. Cellatoglu, "Remote control techniques for selected applications performed through internet," 2009 17 International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation, Perundurai, Tamilnadu, 2009, pp. 1-6.
- [10] A. Saad, A. E. H. Benyamina and A. Gamatié, "Water Management in Agriculture: A Survey on Current Challenges and Technological Solutions," in IEEE Access, vol. 8, pp. 38082-38097, 2020.
- [11] W. Sun, C. Liu and J. Zhu, "A Remote Controlled Mobile Robot Based on Wireless Transmission," 2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), Xi'an, 2018, pp. 2173-2176.
- [12] Y. Hendriana and R. Hardi, "Remote control system as serial communications mobile using a microcontroller," 2016 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI), Bandung, 2016, pp. 1-5.
- [13] M. Poliakov, H. Wuttke and K. Henke, "Cognitive remote laboratories for studying the elements of the smart industry," 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Kiev, 2018, pp. 475-478.
- [14] E. Guimaraes et al., "REAL: a virtual laboratory for mobile robot experiments," in IEEE Transactions on Education, vol. 46, no. 1, pp. 37-42, Feb. 2003.
- [15] X. Zhang, D. Wang, F. Jiang, T. Lin and H. Xiang, "An Optimal Regulation Method for Parallel Water-Intake Pump Group of Drinking Water Treatment Process," in IEEE Access, vol. 8, pp. 82797-82803, 2020.
- [16] I. Narayanan, A. Vasan, V. Sarangan, J. Kadengal and A. Sivasubramaniam, "Little Knowledge Isn't Always Dangerous—Understanding Water Distribution Networks Using Centrality Metrics," in IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing, vol. 2, no. 2, pp. 225-238, June 2014.
- [17] I. Petri, B. Yuçe, A. Kwan and Y. Rezgüi, "An Intelligent Analytics System for Real-Time Catchment Regulation and Water Management," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 14, no. 9, pp. 3970-3981, Sept. 2018.

[18] J. V. Aguilar, P. Langarita, L. Linares and J. Rodellar, "Automatic Control of Flows and Levels in an Irrigation Canal," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 45, no. 6, pp. 2198-2208, Nov.-dec. 2009

[19] Fox, R.W., McDonald, A. T., Pritchard, P. J. "Introdução à Mecânica dos Fluidos", 8ª ed. West Lafayette: LTC, 2014, cap.8.

[20] Siqueira, Thiago. Bluetooth – Características, protocolos e funcionamento. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006. 6p.

[21] Semiconductor, National. LM78LXX Series 3 – Terminal Positive Regulators. Americas Customer. 2003. 12p.

[22] CompuPhase. Termit: a simple RS232 terminal. Disponível em: <https://www.compuphase.com/software_termite.htm> Acesso em: 30 de março de 2018.

[23] Mit. Anyone Can Build Apps That Impact the World. Disponível em: <<http://appinventor.mit.edu/explore/>> Acesso em: 15 de abril de 2020