

Water Manager: A System Based on Hardware and Software for User Consumption Monitoring

E. Coelho, D. Souza, J. Sá, and F. Farias

Abstract—The task of water monitoring has become a necessary action to provide substantial information to users and to reduce unnecessary expenses caused by increasing water waste during different human activities, for example, long showers and car washing. In this context, an online monitoring tool can be a way to improve how people use this valuable resource. This work describes the production process of a water managing system composed by hardware and software, and exposes the relevance of its use in different environments, such as laboratory, public local residences, and others. In order to prove the efficiency, the equipment was implanted and tested in both a laboratory and in a house. During the experiments the information was stored on an online server and retrieved through an Android application for presentation in graphical and statistical formats. The results obtained during the experiments prove the efficiency of the proposed solution.

Index Terms—Water, Monitoring tool, Android application, Online server.

I. INTRODUÇÃO

Água é de fundamental importância para a manutenção da vida no planeta, por essa razão falar da relevância dos conhecimentos sobre esse assunto em suas diversas dimensões é falar da sobrevivência da espécie humana, da conservação e equilíbrio da biodiversidade, e das relações de dependência entre seres vivos e ambientes naturais [1]. Em estudo realizado pelo Programa de Uso Racional da Água (PURA), desenvolvido na Grande São Paulo pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) em parceria com a Universidade de São Paulo (USP), os autores indicam que os desperdícios da água em ambientes residências aumentam consideravelmente a cada ano, além disso o estudo destaca os banhos muito prolongados e o uso de jatos de mangueira para lavagem de calçadas, pátios e carros como hábitos frequentes que elevam o índice de desperdício [2].

“Este trabalho foi financiado em parte pelo PIBIC - Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PROPEP – Universidade Federal do Pará.”

E. M. Coelho, bacharel em Sistemas de Informação e especialista em Gestão de Projetos e Desenvolvimento de Softwares pela Universidade Federal do Pará. Atualmente no Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil (e-mail: eliezermirandacoelho@hotmail.com).

D. E. S. Souza, mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará. Atualmente coordenador do Laboratório de Hidráulica – Universidade Federal do Pará, Pará, Brasil (e-mail: davix.sales@hotmail.com).

J. S. Sá, bacharel em Sistemas de Informação pela Universidade Federal do Pará. Atualmente no Laboratório de Programação Extrema – Universidade Federal do Pará, Pará, Brasil (e-mail: joinersa@hotmail.com).

F. S. Farias, doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará. Atualmente professor na Universidade Federal do Pará – Campus Cametá, Pará, Brasil (e-mail: fabriciosf@ufpa.br).

Visando minimizar os impactos causados pelo aumento anual do índice de desperdício de água em ambientes residenciais, novos métodos e ferramentas para auxílio da conscientização da população, assim como para monitoramento do consumo de água têm sido apresentados [3].

O monitoramento de água é uma tarefa que pode auxiliar aos usuários durante diferentes tomadas de decisões e sua aplicação pode ser diversa, isto é, variando desde o controle do consumo diário de determinada residência ou região até a coleta de amostras para posterior aplicação de técnicas de verificação da qualidade da água a partir de exames menos precisos realizados *in loco* ou com maior precisão, mas realizados em laboratoriais de análise da água [4]. Para ambos os casos, o monitoramento é tarefa em comum que precisa ser executada como etapa inicial para obtenção de dados.

Diante deste contexto, este trabalho apresenta uma solução baseada em *hardware* e *software* que visa monitorar o consumo de água residencial, além de garantir ao usuário o controle do seu próprio consumo. Para isso, este trabalho apresenta as fases de desenvolvimento e utilização de um sistema embarcado, denominado *Water Manager*, dedicado a realizar o monitoramento *online* dos recursos hídricos da residência do usuário. Além do monitoramento *online*, é possível visualizar gráficos estatísticos sobre o consumo na residência onde o equipamento está instalado. Os produtos desenvolvidos durante este projeto foram testados de forma experimental e prática com o objetivo de avaliar a viabilidade do *hardware* e *software*, como também a velocidade de comunicação do *hardware* com o servidor e precisão do sensor utilizado.

O restante do trabalho está organizado nas seguintes seções. A seção II apresenta os trabalhos relacionados. A seção III descreve o projeto *Water Manager*. A seção IV apresenta as métricas de avaliação propostas. A seção V apresenta os Casos de Estudo. A seção VI apresenta os resultados obtidos. Por fim, a última seção apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção são apresentados diversos trabalhos que tratam sobre monitoramento da água sob a perspectiva de consumo e sua qualidade.

Em [4], os autores apresentam uma solução de baixo custo para monitoramento da qualidade da água. Durante a investigação, parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, condutividade, etc.) foram coletados por sensores e após isso, os dados foram enviados a uma central através de módulos emissores. Os resultados demonstram que os sensores de baixo custo podem ser boas soluções para controle do monitoramento

da água dos tanques de distribuição. Já em [3][5][6], os autores fazem uso da *Wireless Sensor Network* (WSN) como alternativa de transmissão das informações coletadas. Em [3], os autores apresentam um projeto de monitoramento usando as tecnologias de *Radio Frequency Identification* (RFID) e WSN. O projeto consiste na instalação de vários nós de sensores sem fio dentro da tubulação de distribuição de água que enviam os dados para estações de base de dados. O sistema foi testado durante um mês e os resultados apresentados mostram que o sistema pode ser aplicado tanto dentro da rede de distribuição, quanto em outros ambientes de água para monitoramento da qualidade da mesma. Já os autores de [5] também apresentam uma solução para controle da qualidade da água. A proposta surge a partir da necessidade de obtenção de resultados mais rápidos e de modo remoto sobre a qualidade da água distribuída. Os resultados demonstram que a utilização de WSN é uma alternativa viável para o monitoramento de parâmetros físico-químicos da água. Por fim, em [6] os autores apresentam um sistema de irrigação automatizada utilizando WSN e *General Packet Radio Service* (GPRS) para controle da quantidade de água utilizada nos campos agrícolas. Os resultados indicam que a utilização do sistema de irrigação automatizado trouxe uma redução significativa no consumo da água na propriedade rural que foi instalado.

Em relação ao monitoramento do consumo de água, em [7] os autores apresentam um sistema de informação sobre o consumo de água. O sistema é composto pelos equipamentos de medição e por uma plataforma *web*, denominada *Home Water Update* (HWU) capazes de fornecer informações de uso aos seus usuários. O sistema foi testado na Austrália e mostrou ser importante para conscientização dos usuários residenciais, havendo uma redução de 8% no consumo de água nas residências. Embora seu resultado positivo, o trabalho não apresenta informações sobre o desenvolvimento e prototipagem da ferramenta. Em [8], os autores apresentam um sistema de coleta, filtragem e monitoramento de águas pluviais. Neste trabalho a comunicação entre o *hardware* e o *software* ocorre exclusivamente por meio da Internet e os dados são armazenados em uma base de dados localizada em um computador do usuário. Em [9], os autores apresentam um banco de dados composto por informações sobre o consumo de água em zonas da cidade portuguesa de Esposende. Neste trabalho são coletados os dados e em seguida métricas matemáticas são utilizadas para a realização do cálculo dos indicadores e de consumo local. Já em [10], os autores apresentam uma solução de monitoramento do consumo de água que comunica com um servidor de banco de dados através de um cabo de cobre do tipo *ethernet*. Desta forma, reduzindo a possibilidade de mobilidade, assim como, requerendo infraestrutura civil para garantia da comunicação física via cabos entre o equipamento e computador que armazenará os dados obtidos.

Apesar dos trabalhos citados apresentarem soluções voltadas para o monitoramento do consumo ou controle da qualidade da água, seus resultados ainda não apresentam soluções voltadas para o monitoramento e apresentação detalhada dos dados de consumo de determinado usuário em função de dias, meses,

anos e volume, assim como os trabalhos investigados não apresentam de forma detalhada e compreensiva uma solução híbrida que envolva sistemas embarcados, desenvolvimento de aplicativos para plataformas móveis, programação de computadores, banco de dados para armazenamento dos dados coletados e servidores *web* aptos para realizar a gestão de dados de múltiplos usuários e sensores. Neste cenário, a Tabela I sumariza as funcionalidades presentes e disponibilizadas em diferentes soluções e destaca as funcionalidades presentes na solução apresentada neste trabalho. Nesta tabela (P) simboliza a presença do item na solução e a letra (A) simboliza a ausência.

TABELA I
COMPARATIVO: *WATER MANAGER* X OUTRAS SOLUÇÕES

Ref.	MOTR	IAF	MU	MS	AM	SE
[3]	P	P	A	P	A	P
[4]	A	P	A	P	A	P
[5]	P	P	A	P	A	P
[6]	P	A	A	P	A	P
[7]	P	P	P	P	A	P
[8]	P	A	A	P	A	P
[9]	P	P	A	P	A	P
[10]	P	A	A	P	A	P
W.M	P	P	P	P	P	P

Ref. = Referência, MOTR = Monitoramento Online, IAF = Informação disponível para Acesso Futuro, MU = Multi Usuário, MS = Multi Sensores, AM = Aplicativo Móvel, SE = Sistema Embarcado, W.M = *Water Manager*.

III. PROJETO *WATER MANAGER*

O projeto *Water Manager* visa o desenvolvimento de um sistema composto por um sistema embarcado e um *software* de monitoramento. O sistema embarcado realiza o monitoramento *online* do consumo de recursos hídricos via coleta e transmissão em tempo real dos dados de vazão de água para um servidor de banco de dados *web*, enquanto que o *software*/aplicativo permite ao usuário o monitoramento *online* do consumo dos locais que usam o sistema proposto. A Fig. 1 apresenta a arquitetura geral do projeto.

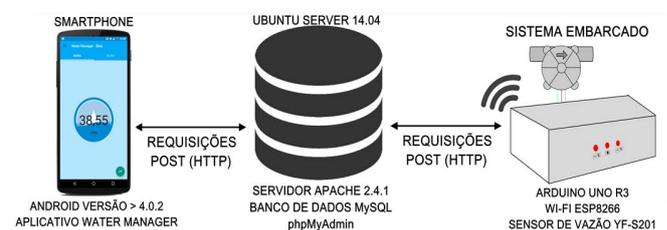


Fig. 1. Arquitetura geral do projeto *Water Manager*.

O funcionamento da troca de informações entre os componentes do sistema ocorre por meio do protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) e requisições do tipo POST. A arquitetura do servidor é baseada em *Representational State Transfer* (REST), isto é, recebendo informações em formato *JavaScript Object Notation* (JSON) e decodificando nos dispositivos participantes.

A. Projeto de Software

Esta subseção apresenta as ferramentas utilizadas para a construção dos *softwares* do sistema embarcado e da plataforma móvel.

O *software* do sistema embarcado é responsável em realizar o controle, tratamento e gerência das informações coletadas pelo sensor medidor de vazão. Além disso, é responsável em realizar o envio dos dados tratados para o servidor de banco de dados *web*. Para o desenvolvimento do *software* foi utilizado a linguagem de programação C para Arduino e o ambiente de desenvolvimento Arduino IDE.

Já o *software* para plataforma móvel é responsável em apresentar ao usuário de forma gráfica e textual as informações armazenadas no servidor de banco de dados *web*. Além disso, é responsável em realizar o gerenciamento do consumo de água via monitoramento dos dados coletados por diferentes sistemas embarcados instalados em diferentes locais. Para o desenvolvimento desse *software*, foram utilizadas as linguagens Java e *eXtensible Markup Language* (XML), em conjunto com o ambiente de programação Android Studio IDE. A Fig. 2 apresenta duas telas do *software* proposto, onde a Fig. 2 (a) apresenta a tela principal da aplicação que contém o consumo diário coletado pelo sistema embarcado, que por sua vez é apresentado em litros, enquanto que a Fig. 2 (b) apresenta de forma gráfica e textual as informações monitoradas sobre o consumo de água.



Fig. 2. Telas do *software* proposto para o sistema de monitoramento do consumo de água. (a) Tela principal apresentando o consumo diário em litros. (b) Apresentação gráfica e textual das informações do consumo de água a cada hora.

Por fim, para o desenvolvimento do *webservice* foram utilizadas as linguagens *Hypertext Preprocessor* (PHP) e *Structured Query Language* (SQL), no ambiente de programação NetBeans IDE.

B. Projeto de Hardware

Esta subseção apresenta os requisitos de *hardware* para operação do *software* *Water Manager* em *smartphones*, comunicação entre os usuários e equipamentos via o servidor

web, e os componentes eletrônicos utilizados para modelagem do *hardware* do sistema embarcado.

Para operação do *software* em *smartphones* é necessário que este possua o sistema operacional Android versão 4.0.2 ou superior, com configuração mínima de 1 GB de memória, conexão com a rede Wi-Fi ou Internet móvel, e processador Dual Core 1.0 GHz. Já para o servidor *web* é necessário um servidor de banco de dados MySQL, servidor Apache 2.4.1 e a plataforma de administração do banco de dados phpMyAdmin instalados no sistema operacional Linux (Ubuntu 14.04 Server).

Para o sistema embarcado, foram utilizados os seguintes componentes eletrônicos: 1 - diodos emissores de luz (LED), 2 - chaves de dois terminais, 3 - microcontrolador Arduino Uno R3, 4 - resistores, 5 - módulo Wi-Fi ESP-8266, 6 - botão acionador, 7 - sensor de fluxo de água e 8 - adaptador para conexão do módulo Wi-Fi.

A Fig. 3 sumariza o esquemático da arquitetura do *hardware*, onde: os LEDs são utilizados para fins de interação com o usuário e indicam se o dispositivo está comunicando com a Internet; as chaves de dois terminais são usadas para fins de configuração e reconfiguração do sistema embarcado; o microcontrolador Arduino Uno R3 é usado para tratar as informações capturadas pelo sensor de fluxo e para enviar a informação de consumo para o módulo Wi-Fi; os resistores são usados para reduzir a corrente elétrica no circuito; o módulo Wi-Fi ESP-8266 é responsável em enviar as informações de vazão coletadas pelo sensor medidor para o servidor de banco de dados na *web*; os botões são responsáveis em reiniciar o equipamento para que novas informações de usuário sejam definidas; e por fim, o sensor medidor de vazão é responsável em coletar as informações juntamente com o Arduino UNO R3. O sensor de fluxo de água opera através de um sensor de efeito Hall, que coleta as informações em pulsos e envia para realização dos cálculos de consumo.

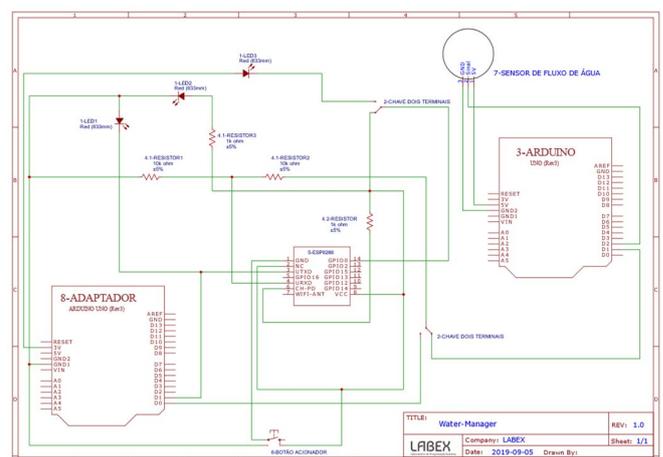


Fig. 3. Esquemático do projeto de *hardware* do sistema de monitoramento do consumo de água.

C. Modelo Lógico do Banco de Dados

Esta subseção apresenta o modelo lógico do projeto *Water Manager*. O modelo lógico está estruturado em 6 (seis) tabelas, sendo 4 (quatro) de entidades e 2 (dois) de relacionamentos, respectivamente: *usuario*, *hardware*, *flag*, *consumo_dia*, *usuario_hardware* e *hardware_flag*. As entidades,

relacionamentos, atributos, tipos de dados e tamanho de cada variável são ilustradas na Figura 4.

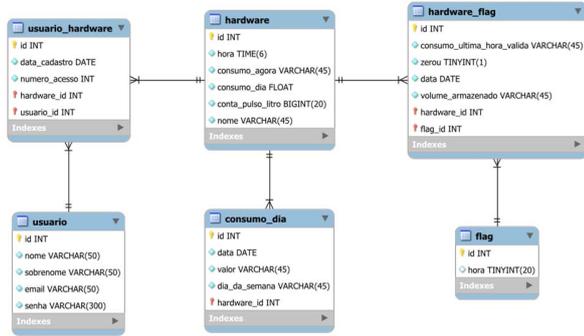


Fig. 4. Modelo Lógico do Banco de Dados.

A tabela *usuario* e *hardware* são responsáveis por armazenar as informações, nesta ordem, dos Usuários e dos Dispositivos. Já a tabela *usuario_hardware* surgiu do relacionamento N para N entre as entidades descritas, sendo assim, possuindo as chaves-composta dos atributos primários presentes nas tabelas relacionadas. Além disso, *hardware* e *usuario_hardware* possuem outros atributos necessários para o funcionamento do projeto.

A tabela *flag* é responsável por acomodar as horas que sistema embarcado transmite os dados para o servidor responsável. Esta detém um relacionamento N para N com a tabela *hardware* resultando na tabela *hardware_flag*, que por sua vez além de possuir as chaves-composta geradas dessa ligação, apresenta outros atributos essenciais para o desempenho do sistema.

Já a tabela *consumo_dia* guarda os dados gerados pelo sistema embarcado. Esta possui um relacionamento 1 para N com a tabela *hardware*, dessa forma, nesta tabela faz-se presente a chave estrangeira, além dos demais atributos.

A partir do modelo lógico proposto vários usuários podem acompanhar o monitoramento de um equipamento, assim como, várias residências possuindo o equipamento instalado se comunicam e transmitem a informação para o mesmo servidor de banco de dados.

D. Aplicação Prática do Protótipo

Uma aplicação prática do sistema é na tarefa de monitoramento do consumo de água de uma residência. A Fig. 5 ilustra uma estrutura composta por: 1 - um sistema de monitoramento, 2 - um sensor de fluxo, 3 - dutos de comunicação e transmissão de água, 4 - componentes consumidores de água, por fim, 5 - *software* de recuperação do consumo de água.

Neste exemplo da Fig. 5, o sensor de fluxo é instalado no ponto de entrada de água da residência, isto é na ligação de água da residência com a rede de distribuição do sistema, para que todo consumo de água feito seja registrado e sincronizado com o servidor de banco de dados *web*, para posterior recuperação via *software*. O sensor de fluxo contém um sensor de efeito *hall* que faz a contagem da frequência dos pulsos em *Hertz* (Hz) de acordo com os giros de uma hélice interna, e com base nesses giros é possível contabilizar a passagem do volume total de água e a vazão em litros por minuto. O volume total de água

(V_{tot}) é computado em (1):

$$V_{tot} = \frac{Pulse_{t/d}}{k} \quad (1)$$

onde $Pulse_{t/d}$ e k representam respectivamente o total de pulsos em um dia e uma constante de calibração do *hardware*. Já a vazão em litros por minutos ($Th_{l/min}$) é dada por (2):

$$Th_{l/min} = \frac{f}{5,5} \quad (2)$$

onde f e 5,5 representam respectivamente a frequência dos pulsos em Hertz e a constante de conversão do sensor de vazão.

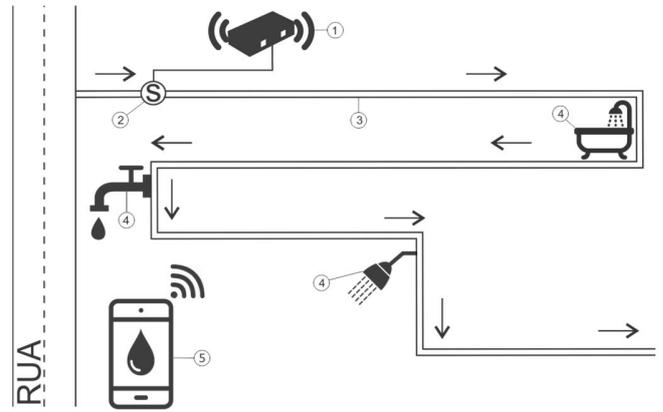


Fig. 5. Exemplo de instalação prática do sistema de monitoramento do consumo de água.

IV. MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

Para verificar a viabilidade do sistema desenvolvido são propostas métricas de avaliação de vazão, velocidade de passagem do fluido pelo sensor e perda de carga. A métrica de avaliação de vazão (Av_{Th}) é dada em litros por segundo (l/s) e pode ser representada por (3):

$$Av_{Th} = \frac{V_u}{t} \quad (3)$$

onde V_u e t representam, respectivamente, o volume total de água contabilizado em litros e o tempo total em segundos. Já a velocidade de passagem da água pelo sensor (vel) é dada em metro cúbico por segundo (m^3/s) e pode ser representada pela equação (4):

$$vel = V \times a \quad (4)$$

onde V e a representam, respectivamente, a velocidade em metros por segundo e a área de seção em metro quadrado. Por fim, a perda de carga de Hazen-Williams (h_{rf}) [11] é dada em metros (m) e pode ser representado por (5):

$$h_{rf} = \frac{10,646 \times vel^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,87}} \quad (5)$$

onde C e D representam, respectivamente, o coeficiente de rugosidade da tubulação e o diâmetro da tubulação em metros (m).

V. CASOS DE ESTUDO

Durante o projeto foram realizados três experimentos com o objetivo de validar a eficiência do sistema na realização de sua tarefa de monitoramento do consumo de água, isto é, coleta dos pulsos, processamento e transmissão para o servidor. Esta seção apresenta os cenários de experimento para calibragem e de testes em laboratório e ambiente real. Para a realização dos experimentos, foi utilizado um *smartphone* com o sistema operacional *Android*, para instalação do *software*, e o sistema embarcado que foi instalado nos cenários avaliados.

A. Experimento de Calibragem

Para a calibragem do sistema embarcado proposto foi adotada a metodologia de calibragem absoluta com instalação fixa [12]. Esta tem o intuito de medir o tempo em que determinado volume de líquido ou sua massa leva para passar pelo medidor que está sendo calibrado. Além disso, foram levadas em consideração as recomendações previstas em [13].

O experimento de calibragem foi repetido por cinco vezes e seguiu as recomendações de [14], a qual indica que um experimento prático deve possuir um número de repetições em triplicata ou superior.

Durante os experimentos de calibragem foram utilizados os mesmos equipamentos, isto é, sendo utilizado em todos os casos dois recipientes de volumes conhecidos. Os recipientes possuem capacidade máxima de armazenamento de 1,5 litros e são definidos como emissor e receptor de água. O recipiente emissor foi instalado a uma altura de 0,8 metros acima do nível do mar, enquanto que o recipiente receptor foi instalado ao nível do mar. Para transmissão do volume de água, foi considerado somente a força gravitacional.

Para iniciar o experimento a válvula de contenção de fluido foi aberta, assim, provocando excitação no sensor de fluxo que foi instalado na tubulação e que conecta o recipiente emissor ao receptor. Por sua vez, o sensor de fluxo passou a enviar os dados coletados para o sistema embarcado, enquanto este enviou as informações para o servidor *web*. Para acompanhamento do desempenho do sistema, foi utilizado o *software* desenvolvido para plataforma móvel e instalado no *smartphone*.

B. Experimento em Bancada

Após a calibragem, o sensor de fluxo foi instalado no *setup* do Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM). A Fig. 6 ilustra o *setup* composto por dois reservatórios, motores (bomba), manômetro, linha de recalque, tubos de conexões, válvula de controle da pressão, sensor de fluxo e sentido do fluxo do fluido excitado pelo motor. A Tabela II apresenta os parâmetros técnicos adotados para força do motor, tamanho da tubulação do *setup*, bitola da tubulação, pressão nominal e escala do manômetro, pressão nominal do sensor de fluxo, e quantidade máxima em litros do reservatório de água. O *setup* proposto simula determinada unidade de distribuição de água

de um sistema público ou particular, que tem como função principal garantir o abastecimento de água aos usuários.

TABELA II
PARÂMETROS UTILIZADOS NO *SETUP* DE DETERMINADA UNIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Equipamentos	Informações
motor	2 motores de 0,5 hp
linha de recalque	5 metros de tubulação em PVC de 32 mm
conexões	22 joelhos e 06 Tês hidráulicos de 32 mm
manômetro	01 manômetros de escala dupla (bar e psi)
sensor de fluxo	01 sensor com pressão máxima de 2,0 MPa
reservatório	2 reservatórios com 60 L cada um e escalas de 5 em 5 L

hp = horse power, PVC = Polivinyll chloride, bar = equivale a 100000 Pascals; psi = libra por polegada quadrada, MPa = megapascal, L = litros.

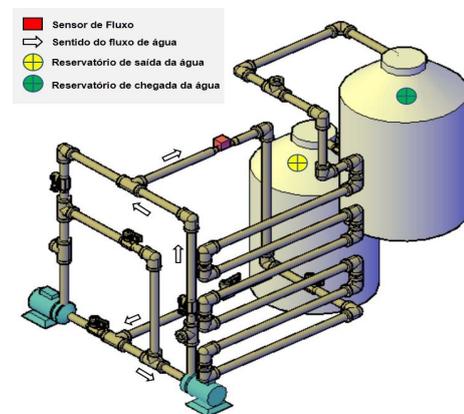


Fig. 6. Setup de determinada unidade de distribuição de água.

Durante os experimentos realizados neste *setup*, foram considerados cenários de abastecimento de água contendo diferentes pressões: 0,05 MPa, 0,1 MPa e 0,15 MPa, observando o limite de 2 MPa dessa variável que é estabelecido pelo fabricante do sensor de fluxo [15]. A variação da pressão ocorreu via o fechamento parcial de uma válvula de controle de pressão e foi acompanhada pela variação da pressão apresentada no manômetro. Para cada cenário, foram realizadas cinco repetições do experimento [14]. Durante cada experimento foram desprezados os primeiros 10 litros com o intuito de garantir o preenchimento total das tubulações com água [12]. Desta forma, garantindo que a contabilização iria desprezar a presença de ar no *setup*. Por fim, durante todos os experimentos foi considerado a transmissão de um volume de água de até 40 litros, onde ao final de cada teste foi aplicado a subtração entre o tempo total para bombear os 40 litros e o tempo para bombear os 10 litros iniciais que sofreram descarte, assim resultando no tempo necessário para bombear os 30 litros esperados [16].

C. Experimento em Residência

O último experimento foi a aplicação do sistema em uma residência. A residência escolhida está localizada na Vila Permanente da Eletronorte (VPE), no município de Tucuruí-PA. Para a realização dos testes, foi indispensável a redução do

diâmetro da tubulação da residência. Para isso foram utilizadas luvas de redução de 3/4" polegadas para 1/2" polegadas. Após as devidas adequações da redução das polegadas, o sensor de fluxo foi instalado na entrada de fornecimento de água da residência, conforme a Fig. 7.



Fig. 7. Equipamento instalado na tubulação de água da residência.

Este experimento foi planejado para uma duração de uma semana e teve como objetivo principal validar a utilização prática do protótipo em sistemas complexos. Neste caso, instalado em uma residência contendo vinte pontos de água fria distribuídos entre quatro banheiros, uma cozinha e uma área de lavagem. Além disso, a residência era habitada por cinco pessoas, sendo quatro adultos e uma criança.

VI. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados do *Water Manager* que foram obtidos a partir da realização dos experimentos de calibragem, em bancada e em residência.

A. Experimento de Calibragem

Os resultados obtidos demonstram que o sistema proposto é capaz de monitorar o volume de água contabilizando baixo índice de erro. Dentre os cinco testes realizados, o maior índice de erro obtido foi durante o primeiro experimento, o qual foi de 1,33%. Enquanto que no terceiro teste, foi obtido uma porcentagem de erro de 0%. A Fig. 8 apresenta a quantidade em litros obtida em cada teste, e conforme os resultados, o valor médio das respostas foi de 1,494 litros, representando uma taxa média de erro de 0,4%. Por fim, a duração média de cada teste foi de 30,6 segundos.

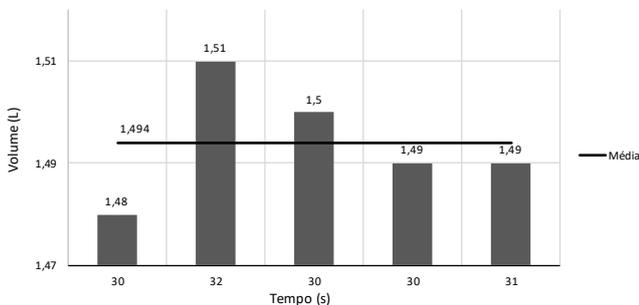


Fig. 8. Resultados dos experimentos para calibração do equipamento.

B. Experimento em Bancada

Os resultados do experimento em bancada são obtidos a partir da variação do valor da pressão exercida. Os resultados demonstram que o sistema proposto está apto a monitorar de

modo eficiente e independente da variação da pressão exercida na tubulação, isto é, até o limite previsto pelo equipamento [12]. A Fig. 9 apresenta o valor médio de consumo após a realização de cinco testes repetidos para as pressões 0,05 MPa, 0,1 MPa e 0,15 MPa.

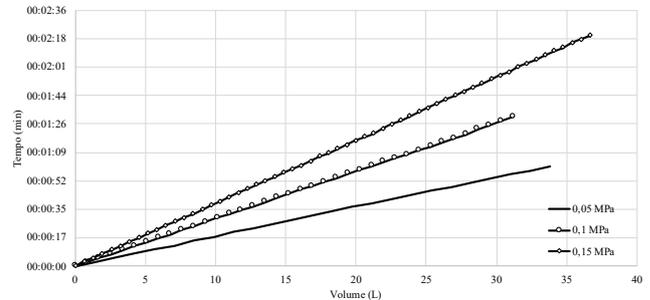


Fig. 9. Resultados dos experimentos realizados em bancada.

Os resultados também indicam que quanto maior a pressão, maior é o tempo necessário para bombear os 30 litros. Para a pressão de 0,05 MPa, o tempo foi de 56 segundos para bombear 30,97 litros, enquanto que para a pressão de 0,1 MPa, o tempo foi de 88 segundos para bombear 30,36 litros. Já para a pressão de 0,15 MPa, o tempo utilizado para bombear 30,24 litros foi de 116 segundos.

Além das métricas de tempo e volume, este experimento também avaliou as métricas de Av_{Th} , vel e h_{rf} em função da variação da pressão. Os resultados apresentados na Tabela III demonstram que a modificação da pressão é um fator importante pois altera o valor das métricas analisadas, assim como, destacam a robustez da solução que responde adequadamente para diferentes variações que o sistema embarcado e *software* são submetidos.

TABELA III
TESTES DAS MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO EM DIFERENTES PRESSÕES

Variáveis	0,05 MPa	0,10 MPa	0,15 MPa
Av_{Th} (m ³ /s)	0,00055	0,00034	0,00026
vel (m/s)	0,68	0,42	0,32
h_{rf} (m)	0,139	0,057	0,035

MPa = megapascal, Av_{Th} = avaliação de vazão, m³/s = metro cúbico por segundo, vel = velocidade, m/s = metros por segundo, h_{rf} = perda de carga de Hazen-Williams, m = metro.

Em relação as métricas de avaliação, os resultados demonstram que todas sofrem redução em função do aumento da pressão.

C. Experimento em Residência

O último experimento avaliou a robustez do sistema em relação a sua utilização por longos períodos. Os resultados demonstram que o sistema possui autonomia para operação por longos períodos, isto é, sem a necessidade de intervenção humana para a obtenção dos dados referentes ao consumo. A Fig. 10 apresenta os resultados do monitoramento executado durante o período de uma semana. Os resultados são organizados no intervalo de horas e demonstram que durante os sete dias de operação o sistema se manteve sem apresentar

falhas. Além disso, a Fig. 10 também apresenta o perfil residencial da família a partir do consumo por dia e por hora.

A partir dos resultados obtidos, é possível validar a eficiência do sistema desenvolvido, em função da identificação de dados consistentes, os quais expressam a realidade da residência sob monitoramento, assim propiciando maior controle sobre o consumo residencial de água e instigando a sustentabilidade por parte dos residentes.

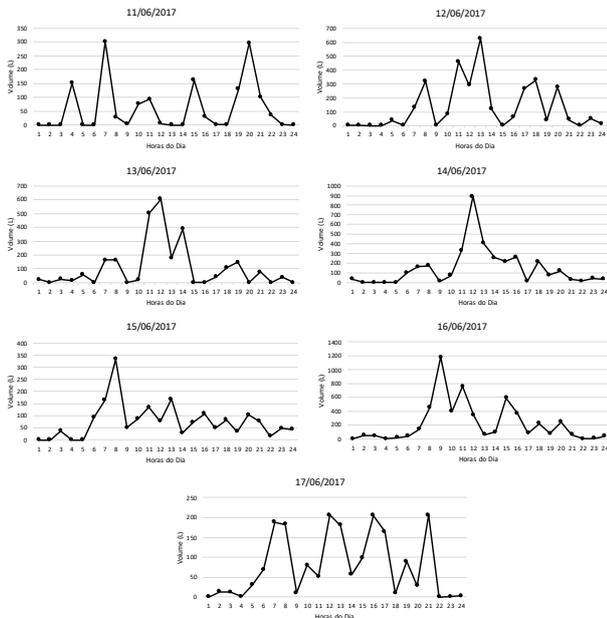


Fig. 10. Resultados dos experimentos em residência.

VII. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho propôs uma solução composta por um sistema embarcado e um *software* de monitoramento *online* do consumo de recursos hídricos, denominado *Water Manager*. Para validação do projeto *Water Manager*, três experimentos foram conduzidos com o intuito de avaliar a precisão, generalização para diferentes níveis de pressão e robustez do uso em longos períodos.

Os resultados obtidos durante os testes comprovam a eficácia do sistema na tarefa do monitoramento *online* de água, isto é, o sistema permite o armazenamento de informações coletadas a partir dos sistemas embarcados e seus sensores. Além disso, tais informações podem ser utilizadas/acessadas, através do banco de dados, por múltiplos usuários a qualquer momento e em qualquer lugar, sendo este acesso possível a partir de dispositivos móveis. Deste modo, possibilitando maior dinamismo ao acesso a informação sobre o consumo de água do local em que o equipamento é instalado.

Os resultados indicam que a ferramenta apresenta informações confiáveis que podem auxiliar na tomada de decisões quanto à redução do consumo dos recursos hídricos no ambiente onde for instalado. Deste modo, a partir dos experimentos realizados, podemos concluir que o sistema é uma potencial ferramenta para solucionar o problema da limitação

ao acesso às informações de consumo de água, assim como pode vir a auxiliar na redução do consumo de água residencial.

A partir desse trabalho, pode-se concluir a relevância da utilização de sistemas embarcados que envolvem *software* + *hardware* para fins de controle e monitoramento de recursos hídricos.

Por fim, os resultados demonstram a comodidade advinda do uso do sistema, pois seus usuários podem acompanhar o monitoramento usando *software* em qualquer momento e em qualquer lugar, isto é, sem a necessidade de qualquer deslocamento para verificação do consumo ou realização de cálculos para contabilização dos valores de consumo.

Para trabalhos futuros, espera-se utilizar as informações armazenadas no servidor de banco de dados *web* para verificação e identificação de perdas ocasionadas por vazamentos em tubulações das residências monitoradas. A tarefa será realizada por meio da aplicação de algoritmos de inteligência computacional na base de dados.

REFERÊNCIAS

- [1] D. D. L. C. Bacci and E. M. Pataca, "Educação para a Água," *Estudos avançados*, 22.63, 211-226, 2008.
- [2] A. C. Reboças "Água no Brasil: Abundância, Desperdício e Escassez," *Bahia análise & dados*, 13: 341-345, 2003.
- [3] P. Jiang, H. Xia, Z. He, and Z. Wang, "Design of a Water Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks," *Sensors*, v. 9, p. 6411-6434, ISSN 1424-8220, 2009.
- [4] N. A. Cloete, R. Malekian, and L. Nair, "Design of Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring," *IEEE Access*, v. 4, ISSN 2169-3536, 2016.
- [5] M. Pule, A. Yahya, and J. Chuma, "Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality," *Journal of Applied Research and Technology*, p. 562-570. ISSN 1665-6423, 2018.
- [6] J. Gutiérrez, J. F. Villa-Medina, A. Nieto-Garibay, and M. A. Porta-Gándara, "Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 63, n. 1, ISSN 0018-9456, 2014.
- [7] A. Liu, D. Giurco, and P. Mukheibir, "Urban water conservation through customized water and end-use information," *Journal of Cleaner Production*, p. 3164-3175, ISSN 0959-6526, 2015.
- [8] A. D. C. Silva, L. V. Rocha, A. P. Machado, D. M. G. Gutiérrez, L. S. Santos, and C. B. B. Gutiérrez, "Sistema de automação para captação de águas pluviais e gerenciamento hídrico residencial utilizando aplicativo móvel," *Sistema* 38.19, 2017.
- [9] J. Soares, P. Leite, P. Teixeira, N. Lopes, and J. P. Silva, "Data warehouse for the monitoring and analysis of water supply and consumption," *Proceedings*, 3.
- [10] A. E. P. Soares, A. R. M. Prado, and S. R. Silva, "O monitoramento como ferramenta da redução do consumo de água potável na faculdade de ciências da administração de pernambuco-FCAP/UPE," *Tecnologia*, v. 23, n. 1, p. 42-48, 2019.
- [11] J. M. A. Netto, "Manual de hidráulica," 9ª edição, São Paulo: Edgard Blücher, 2015.
- [12] G. Bergmann, "Avaliação metrológica de sistemas de medição de vazão," Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2012.
- [13] Instituto Nacional de Meteorologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO, "Vocabulário Internacional de Metrologia," 2012 edição, Duque de Caxias-RJ, 2012.
- [14] J. M. Sylvia, A. J. Winter, "Survival of virulent and attenuated strains of *Brucella abortus* in normal and gamma interferon-activated murine peritoneal macrophages," *Infection and Immunity*, v. 60, n. 7, p. 3011-3014, 1992.
- [15] HobbyTronics, YF-S201 Datasheet [Online]. Disponível em: <https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf>, Acesso em 19 jul 2018.
- [16] G. J. Delméc, "Manual de medição de vazão," 3ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, ISBN 85-212-0321-7, 2003.



Eliezer Miranda Coelho, Bacharel em Sistemas de Informação pela Universidade Federal do Pará - UFPA – CUNTINS. Especialista em Gestão de Projetos & Desenvolvimento de *Softwares* pela Universidade Federal do Pará – UFPA. Estuda mestrado em Ciência da Computação na Universidade Estadual de Campinas. Membro colaborador para o

Laboratório de Programação Extrema (LABEX) desde 2015. Atua na área de Sistemas de Computação.



Davi Edson Sales e Souza é mestre em Engenharia Civil na área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Graduação em Engenharia Sanitária e ambiental pela UFPA (2010), atuando na área do planejamento urbano, eficiência energética, saneamento ambiental, licenciamento e gestão

ambiental, projetos de esgotamento sanitário, abastecimento de água e resíduos sólidos urbanos.



Joiner dos Santos Sá, Bacharel em Sistemas de Informação pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Bolsista pelo Programa Institucional de Bolsas de Extensão (PIBEX) da UFPA (2015 a 2017). Membro colaborador do Laboratório de Programação Extrema (LABEX) desde 2015.



Fabricio de Souza Farias possui Doutorado em Engenharia Elétrica, com ênfase em Computação Aplicada, pela Universidade Federal do Pará (2016). Mestrado em Engenharia Elétrica, com ênfase em Computação Aplicada, pela Universidade Federal do Pará (2012). Graduação em Engenharia da Computação pela Universidade Federal do Pará (2011).

Professor da Universidade Federal do Pará Campus de Cametá desde 2014. Profissional habilitado para atuar nas áreas de Inteligência Computacional, Engenharia de *Software*, Programação, *Game Design*, Automação de Processos, Redes de Computadores e Telecomunicações. Experiência na indústria (ALCOA), de intercâmbio de seis meses na Universidade de Stuttgart (Alemanha) de 2009/2010 e estágio de doutorado de um ano na Universidade KTH (Suécia) de 2013/2014. Atualmente é pesquisador com interesses nas áreas de eficiência energética, *mobile backhaul*, produção de *softwares* e vídeos educativos aplicados ao PBL, modelagem matemática, computação básica, entre outras.