

Monitoramento de nível de rio utilizando microcomputador, sensor ultrassônico e comunicação celular

Marco Antonio S. Teixeira¹, Raul V. Rosa², Alex L. de Sousa², Mário E. Augusto²

¹Engenharia Elétrica e Informática Industrial
Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UTFPR) – Curitiba – PR – Brasil

²Departamento de Sistemas de Informação
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) – São Bento do Sul – SC – Brasil

{mantonio.t91,raulvictorrosa}@gmail.com,
{alex.sousa,mario.augusto}@udesc.br

Resumo. *O Brasil apresenta um histórico de fortes chuvas em determinados períodos do ano, ocasionando inundações e grandes prejuízos nas áreas próximas a alguns rios. Os sistemas de previsão do tempo conseguem prever a precipitação e chuvas fortes, mas não monitoram em tempo real a iminência de uma inundação. Neste artigo nós apresentamos um sistema de monitoramento de nível de rio composto por uma estação de monitoramento (microcomputador Raspberry Pi com sensor ultrassônico, sensor de temperatura e interface 3G), comunicação celular e um servidor de informações. Nosso sistema tem como objetivo monitorar o nível de um rio e disponibilizar em tempo real a informação de uma iminente inundação, de forma independente dos atuais sistemas de previsão de tempo. O sistema se mostrou satisfatório para o monitoramento, conseguindo coletar os dados necessários, enviá-los ao servidor de informações via rede celular e disponibilizar as informações on-line.*

Abstract. *Brazil presents a history of heavy rains in some periods of year, causing floods and huge loses nearby some rivers. Weather forecast systems can anticipate rainfall and heavy rains, but they don't monitor a flooding eminence in real time. In this paper we present a river level monitoring system composed by a monitoring station (microcomputer Raspberry Pi with ultrasonic sensor, temperature sensor and 3G interface), cellular communication and an information server. The goal of our system is to monitor the level of a river and provide in real time the information about an imminent flooding, independently of current weather forecast systems. The system proved to be satisfactory for the monitoring, being able to collect the necessary data, send them to the information server via cellular network and make the information available online.*

1. Introdução

Os sistemas de previsão meteorológica atualmente empregados no Brasil são mais precisos que há algumas décadas. Porém, ainda assim, são previsões e constantemente não ocorre o que realmente foi previsto, pois inúmeras variáveis são utilizadas. Mesmo com a previsão de precipitação elevada para determinado dia, por exemplo, não se sabe

exatamente em qual momento e em qual quantidade a chuva ocorrerá. Estes sistemas de previsão também são caros e dependem de equipamentos de alto desempenho.

No território brasileiro, devido a chuvas fortes, ocorrem deslizamentos e inundações às margens de rios e, conseqüentemente, deixam milhares de pessoas desabrigadas e causam grande prejuízo. Como um exemplo, no estado de São Paulo, entre o verão de 2004 à 2008 foram registradas 48433 vítimas de deslizamentos e inundações (BUSTAMANTE, 2010).

Além dos sistemas de previsão atualmente disponíveis, o monitoramento do nível dos rios poderia prever, com curta antecedência, o alagamento de regiões próximas aos rios e, conseqüentemente, diminuir o prejuízo provocado pelas inundações.

Este artigo apresenta um sistema de monitoramento de nível de rio de baixo custo que informa sobre o aumento de nível e disponibiliza esta informação em tempo real na Internet, com o intuito de que a população em geral consiga se antecipar aos desastres e minimizar os prejuízos. O sistema não visa prever de forma precisa a precipitação ou a ocorrência de alguma catástrofe.

Nosso sistema de monitoramento é composto por uma estação localizada em um rio e por um servidor de dados. A estação de monitoramento possui um microcomputador Raspberry Pi, o qual atua como a central de processamento, um sensor ultrassônico para medir o nível do rio, um sensor de temperatura, e um modem 3G para o envio das informações monitoradas via rede celular. Esta estação verifica o nível do rio a cada 5 minutos, e envia uma mensagem SMS com cada medição para o servidor de dados, que salva os dados de maneira persistente e os disponibiliza na web. O intervalo de tempo entre as medições pode ser ajustado para mais ou para menos.

Este trabalho tem sua importância técnica/científica com a utilização conjunta de dispositivos de computação (microcomputadores), sensores (ultrassônico e temperatura), comunicação (celular), aplicação (programação de microcomputadores, banco de dados, interface web). O trabalho também é importante para a sociedade com a prevenção de acidentes naturais.

A inovação tecnológica deste trabalho, comparando-se com os sistemas de previsão do tempo, está relacionada à informação de uma real iminência de inundação. Comparando-se a trabalhos relacionados, a inovação está relacionada ao método de medição, pois o equipamento não fica submerso na água, facilitando sua manutenção.

Este sistema foi testado no rio Negrinho, afluente do Rio Negro, na cidade de São Bento do Sul - SC, e se mostrou satisfatório para o monitoramento do nível de rio.

Além desta introdução, a seção 2 apresenta alguns trabalhos relacionados a sistemas embarcados e prevenção de desastres naturais. Na seção 3 é apresentado o sistema de monitoramento de nível de rio. A seção 4 apresenta alguns dos resultados de medição. As conclusões e trabalhos futuros encontram-se na seção 5.

2. Trabalhos relacionados

Alguns trabalhos relacionados a sistemas embarcados, redes de sensores e prevenção de desastres naturais foram publicados na literatura. Vunabandi (2015) desenvolveu um sistema de monitoramento de nível de água para prevenção de inundações utilizando

microcontrolador Arduino, sensor de nível de água, comunicação ZigBee e Wi-Fi, alimentado por um painel solar. O Arduino é programado para capturar dados e enviar um sinal quando o detector de água percebe a presença de um aumento de nível comparado com o nível normal do rio, acionando uma sirene. Os autores não informam qual sensor foi utilizado. O sistema é mais adequado para regiões mais precárias, que não possuem alimentação elétrica. O custo do painel solar encarece o sistema.

Em (SAKIB, 2016) os autores apresentam um sistema um pouco mais complexo para detecção de inundações e ciclones em Bangladesh. O sistema utiliza sensores de nível de água, sensor de chuva, direção de vento e barômetro. Microcontroladores Arduino capturam os dados dos sensores e enviam via ZigBee para um Raspberry Pi, o qual acessa um servidor e uma base de dados com informações de inundações e ciclones dos últimos 20-25 anos. O sistema de alerta de inundações utiliza um controlador Neuro-Fuzzy. A arquitetura apresentada é mais cara que a apresentada por Vunabandi (2015).

Alguns trabalhos focam na medição de nível e volume de água. Em (RIBEIRO, 2010), é apresentado o uso de sensor capacitivo para a medição do nível de líquido. O sistema é composto por um microcomputador que capta os sinais provenientes do sensor e então os envia para um computador por radiofrequência. O objetivo dos autores foi levantar as vantagens do método capacitivo em relação ao método tradicional de medição que utiliza sensores de pressão. A conclusão dos autores foi que a medição por sensores capacitivos se mostrou menos imune às oscilações, mais econômico e de construção fácil. Em (YOSHIZAKI, 2015), é apresentado o desenvolvimento de um sistema de medição de volume de água utilizando sensores capacitivos que operam por transferência de energia. Os autores compararam a técnica com outras técnicas existentes e também com a verificação visual. Os autores concluíram que a medição de nível de rio utilizando sensores capacitivos se mostrou viável. Uma vantagem do trabalho é que o sensor se encontra fora do tanque, se comparado com sensores de pressão. Em (SLONGO, 2016) é apresentado um sistema de medição de vazão através do uso de sensores ultrassônicos. A medição é feita através da análise de modulação do sinal causada pelas turbulências presentes no escoamento. Os autores realizaram testes em laboratório em tubulações horizontais de uma polegada, com velocidades de escoamento entre 1 m/s e 3 m/s. O uso do ultrassom se mostrou satisfatório.

Existem inúmeras técnicas de medição de nível de água, como as citadas até aqui, onde são utilizados sensores capacitivos, ultrassom, sensores de pressão, entre outros. A inovação da nossa técnica encontra-se no baixo custo e facilidade de manutenção, uma vez que o sensor fica por cima da água, sem contato direto.

3. Sistema de monitoramento

Esta seção apresenta a metodologia utilizada na construção do nosso sistema de monitoramento. O sistema é composto por uma estação de dados que realiza medições de nível e temperatura e envia os dados, e um servidor que os recebe e os disponibiliza na web. Os dados são transmitidos da estação para o servidor por meio de comunicação celular. A composição deste sistema é justificada pela necessidade de se obter maior precisão do nível do rio e pela praticidade e facilidade de manutenção: medimos a temperatura para obtermos uma distância do nível do rio mais precisa; a comunicação celular simplifica o sistema, pois não exige uma infraestrutura própria de comunicação;

o servidor foi necessário para armazenamento e disponibilização da informação. Os três tópicos estação de dados, transmissão de dados e servidor são explicados a seguir.

3.1. Estação de dados

A estação se refere ao aparelho que fica localizado na proximidade do rio. É função da estação de dados monitorar e enviar os dados para o servidor. A estação é composta por um microcomputador Raspberry Pi modelo B, um sensor ultrassônico HC-SR04 e um modem 3G capaz de enviar e receber mensagens SMS (*Short Message Service*).

O Raspberry Pi (THE RASPBERRY FOUNDATION, 2014) possui características que se confundem com um computador comum como processador, memória, sistema operacional. Além destas características, ele possui pinos de entrada e saída, que permitem manipular sensores e outros equipamentos que suportam essa tecnologia. Estes pinos de entrada e saída são utilizados para se obter informação do sensor ultrassônico HC-SR04 (Cytron, 2012). Este sensor trabalha emitindo um som em uma frequência imperceptível para o ser humano, algo em torno de 40 kHz. O sinal percorre o ambiente até encontrar algum obstáculo, então parte deste sinal é refletido de volta, e o sensor o captura, como é demonstrado pela Figura 1.

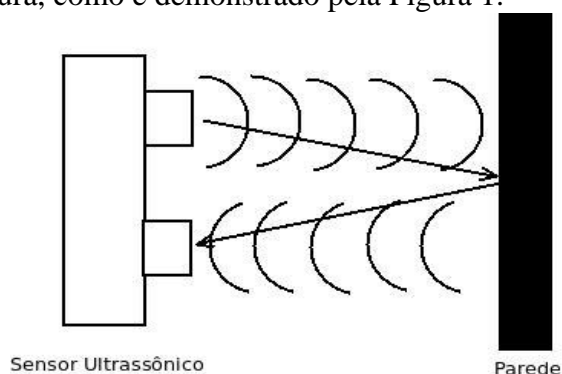


Figura 1 Funcionamento do sensor ultrassônico

Pelo tempo que o sinal leva para ir até o objeto e voltar, é possível definir a distância que este objeto se encontra do sensor. Alguns animais também utilizam da técnica de ultrassom para se localizar no ambiente, como é o caso dos morcegos.

O sensor fornece a capacidade de obter o tempo percorrido pelo som. Porém, somente com esta informação não se torna possível obter a distância relativa do objeto. Para se medir a distância, é preciso conhecer a velocidade do som, para então multiplicá-la pelo tempo de ida e volta do sinal e dividi-la por 2, e então temos a distância que o sinal percorreu até chegar ao objeto.

Para se obter a velocidade do som, a temperatura necessita ser conhecida pois a velocidade do som varia de acordo com a temperatura do ambiente. A equação (1) é usada para calcular a velocidade (V) do som em função da temperatura (T).

$$V = 331,45 + 0,607 * T \quad (1)$$

O valor 331,45 m/s refere-se à velocidade do som a uma temperatura de 0 (zero) graus. Já o T refere-se à temperatura do ambiente, adicionando 0,607 m/s a cada grau acima de zero, ou -0,607 m/s a cada grau abaixo de zero. Para se obter a temperatura do local, um

sensor de umidade e temperatura (modelo DHT11) foi adicionado à estação de dados.

Tendo a velocidade (V) do ultrassom e o tempo de ida e volta (ΔT) calculado pelo sensor, calcula-se a distância (D) entre o sensor e a superfície do rio (equação 2). O produto é dividido por 2 para se obter a distância de ida do sinal, e não ida e volta.

$$D = (V \cdot \Delta T) / 2 \quad (2)$$

Sabendo-se antecipadamente a distância fixa entre o sensor e o fundo do rio (D_f), tem-se a profundidade do rio (P) (equação 3). O esquema completo da estação é ilustrado na Figura 2.

$$P = D_f - D \quad (3)$$

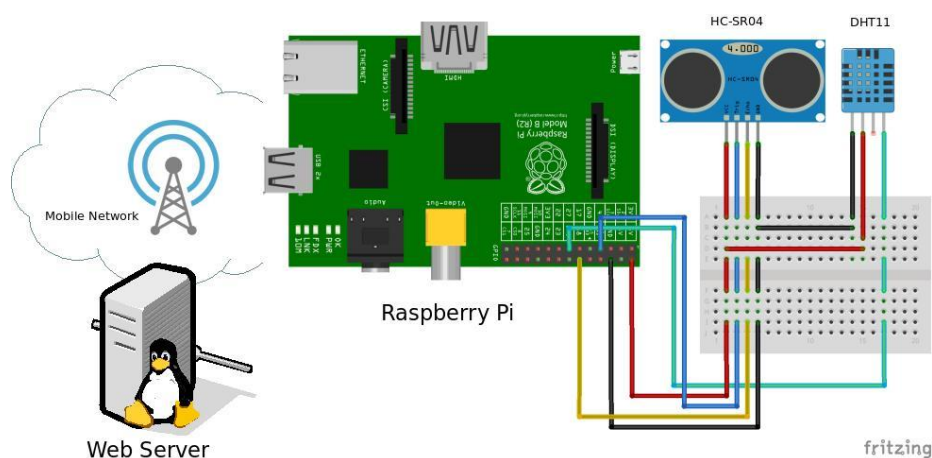


Figura 2 Esquema do sistema de monitoramento

3.2. Sistema de transmissão

A estação de dados obtém os dados do local, mas é necessário enviá-los para um servidor para que possam ser armazenados. A troca de informação entre a estação e o servidor é feita através do uso de rede celular utilizando o serviço de SMS (*Short Message Service*). Tanto o servidor quanto a estação de dados são equipados com um modem 3G para a transmissão de mensagens SMS. Segundo Bodic (2005), o SMS é um serviço que possibilita a troca de mensagens de textos curtos entre seus assinantes. As mensagens possuem um limite de 140 bytes. Quando esse limite é excedido, a mensagem do usuário se divide em duas ou mais.

Nós implementamos o envio das mensagens utilizando o modem 3G através do uso da linguagem de programação Python juntamente com o uso da ferramenta GSM-UTILS. A ferramenta GSM-UTILS, juntamente com os pacotes para *download*, pode ser encontrada no site da organização Debian (DEBIAN ORGANIZATION, 2014). Em geral, o uso da ferramenta para o envio de uma mensagem consistiu no comando “gsm sendsms” seguido de “-d /dev/ttyUSB1” onde “-d” é utilizado para indicar o caminho até a interface lógica com o dispositivo. Normalmente essa interface no Linux é a “ttyUSB1”, seguido então do número de destino, composto pelo código de área mais o número de identificação e por último a mensagem de texto desejada.

3.3. Servidor de dados

O servidor de dados é formado por uma aplicação que recebe os dados das medições e os armazena em um banco de dados MySQL versão 5.7.16. A aplicação foi desenvolvida em linguagem Java. Além disso, um site web disponibiliza os dados online na forma de gráficos.

O modelo entidade-relacionamento (MER) do banco de dados da aplicação é ilustrado na Figura 3, onde é possível visualizar todas as tabelas presentes e suas ligações existentes. O sistema permite suportar vários sensores em vários rios.

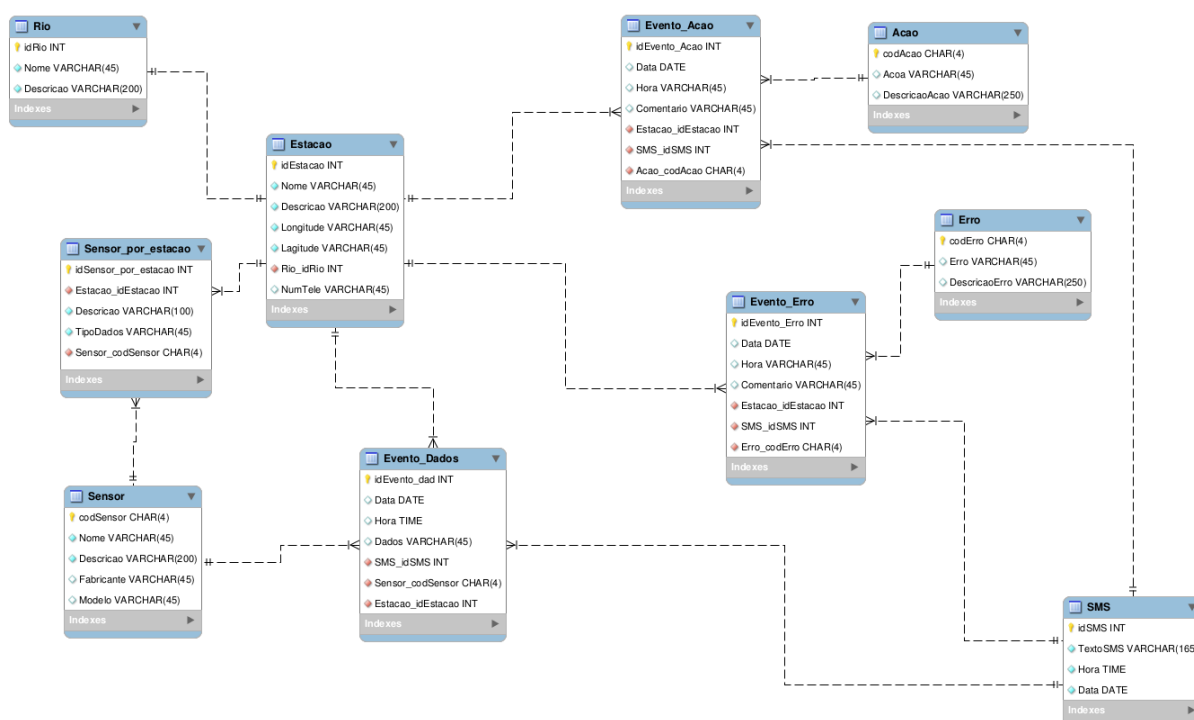


Figura 3 Modelo entidade-relacionamento do banco de dados

A aplicação recebe os dados da estação de monitoramento com auxílio de um modem 3G e ainda publica periodicamente os dados brutos coletados no Facebook, através da ferramenta Fbcmd (TOMPKINS, 2017). Para receber os dados da estação de monitoramento via linguagem de programação Java, a solução encontrada foi o uso da aplicação para Linux Gammu (CIHAR, 2013). O Gammu é um utilitário em linha de comando que possibilita controlar um telefone celular.

Agora que já é possível receber e apagar mensagens de texto da rede GSM através de linha de comando Linux, pode-se obter esses dados pela aplicação Java utilizando os comandos “Runtime.getRuntime().exec(“Comando”)” e “BufferedReader” para ler a saída do comando (FERREIRA, 2009).

A interface web para exibição dos dados de nível do rio e temperatura foi desenvolvida utilizando-se a ferramenta WordPress para o layout das páginas, a ferramenta CanvasJS para montagem dos gráficos, bem como as linguagens PHP e JavaScript para programação web.

4. Resultados

A estação foi instalada num ponto do rio Negrinho, afluente do Rio Negro, na altura da rua Augusto Wunderwald, cidade de São Bento do Sul. A estação foi fixada embaixo de uma ponte em área particular, conforme Figura 4. As medições de distância e temperatura foram feitas entre os dias 09/09/2016 à 12/10/2016.



Figura 4 Estação de monitoramento fixada

O local de instalação foi adequado para os testes, pois é um local de acesso restrito e estático. Futuramente, para o uso contínuo do equipamento, o ideal é colocá-lo em uma posição mais alta para evitar que a água do rio atinja e danifique o sistema, mesmo que a única parte danificada sejam os sensores.

A Figura 5 ilustra a interface web desenvolvida, bem como o gráfico de profundidade do rio no dia 09/09/2016, como um exemplo. O eixo X apresenta o horário da medição e o eixo Y apresenta a profundidade do rio naquele momento.

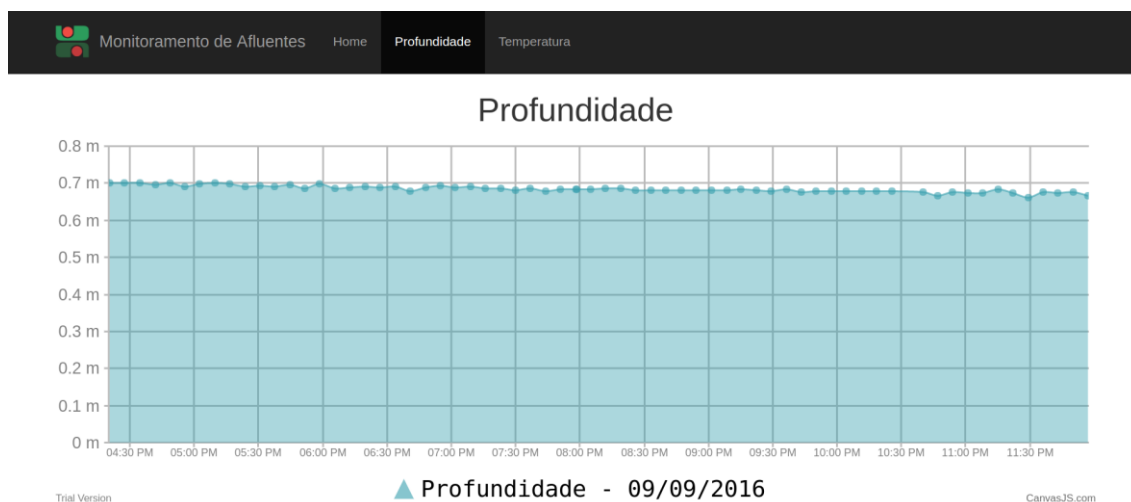


Figura 5 Gráfico de profundidade (nível do rio)

Pode-se observar que a profundidade do rio estava em torno de 70 centímetros, com certa variação de cerca de 1 cm devido às ondulações da superfície do rio e com leve diminuição de profundidade no decorrer das horas. Verificando os dados meteorológicos de precipitação no site do SAMAE - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de São Bento do Sul (2017), constatou-se que não ocorreu chuva neste dia. Testes de medição de distância foram feitos em laboratório antes da instalação da estação para verificação da confiabilidade da medição no rio. A profundidade do rio naquele ponto foi realizada *in loco* utilizando-se uma trena (régua).

Um detalhe que não está visível no gráfico da Figura 5 é uma linha vermelha na altura 2.14 metros do rio. Esta linha é mostrada automaticamente no gráfico quando o nível do rio chega mais próximo deste valor e indica o limite de segurança antes de uma inundação, pois é a altura da ponte onde foi instalada a estação de monitoramento. A Figura 6 ilustra a interface web com o gráfico de temperatura do dia 09/09/2016.

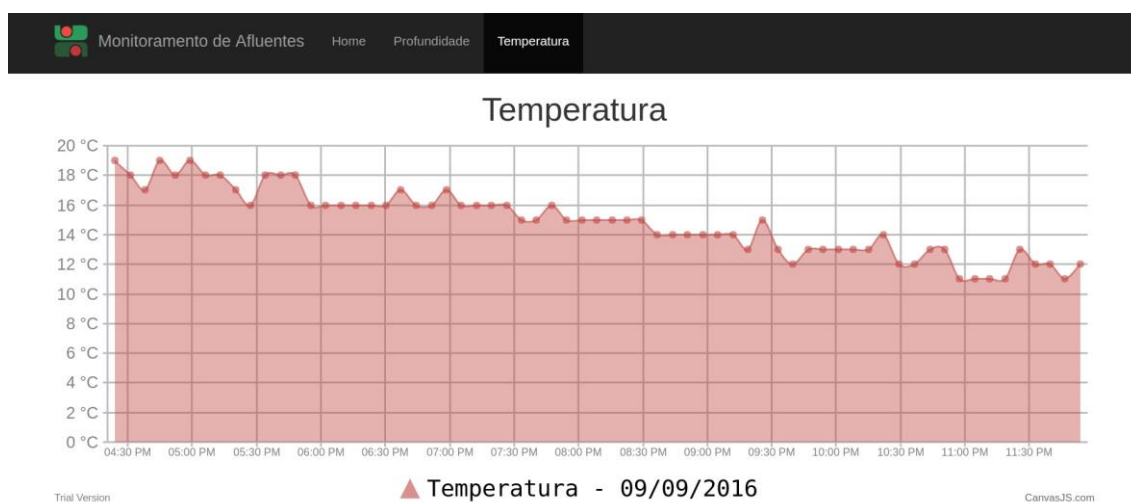


Figura 6 Gráfico de temperatura

A temperatura não foi verificada *in loco*, mas os dados estão de acordo com os dados meteorológicos do SAMAE, que registraram em São Bento do Sul temperatura mínima de 8.6° C e máxima de 20.2° C. Conforme as horas foram passando, a temperatura foi caindo naturalmente. A variação observada no gráfico de 1° C a mais ou a menos é devido a arredondamento e precisão do equipamento.

Quanto ao custo do equipamento de medição em cada ponto do rio, a Tabela 1 apresenta os valores aproximados de cada parte da estação. Além do custo inicial, acrescenta-se o custo mensal do chip de celular com serviço de mensagens SMS.

Uma observação é que o Raspberry Pi 2 foi descontinuado. Atualmente é vendido o Raspberry Pi 3 por aproximadamente US\$ 39.95. Outra observação é a aquisição do chip de celular que não foi incluída na Tabela 1. Embora não tenhamos os custos exatos dos trabalhos relacionados na Seção 2, considerando a simplicidade da solução apresentada aqui, este sistema tem um custo mais baixo que os outros trabalhos.

Tabela 1 Custo da estação de monitoramento

Equipamento	Custo
Raspberry Pi 2	US\$ 25
Sensor DHT11	US\$ 5.20
Sensor HC-SR04	US\$ 3.95
Caixa acrílico	US\$ 5.95
Fonte 5V 2.4A, USB	US\$ 7.95
Cartão microSD 16GB	US\$ 12.95
Modem USB 3G	US\$ 12.66
TOTAL	US\$ 73.66

O sistema não foi disponibilizado ao público geral, apenas testado, mas pode ser disponibilizado caso haja recursos para sua manutenção mensal.

5. Conclusões e trabalhos futuros

Este trabalho apresentou um sistema de monitoramento de nível de rio utilizado para evitar maiores prejuízos em casos de alagamentos devido às chuvas fortes. Uma estação de monitoramento, composta por um microcomputador Raspberry Pi, um sensor ultrassônico, um sensor de temperatura e uma interface 3G, é responsável pela medição do nível do rio e envio dos dados a um servidor de informações. O servidor armazena os dados e disponibiliza uma interface web para visualização das informações.

Este sistema foi testado no rio Negrinho, afluente do Rio Negro, na cidade de São Bento do Sul - SC, e se mostrou satisfatório para o monitoramento do nível de rio, conseguindo coletar os dados necessários, enviá-los a um banco de dados e disponibilizar as informações via interface web. Nosso sistema, além de demonstrar sua importância técnica/científica, pode ser utilizado pela sociedade como uma forma de prevenção de prejuízos devido a alagamentos nas margens de rios.

Como continuação deste trabalho, é possível a instalação de outros sensores, em posições diferentes e com funções diferentes (pressão, umidade, etc), pois o sistema prevê esta possibilidade. Também poderia ser tomado um período de tempo maior para verificar possíveis adaptações para intervalos mais amplos. Em outro trabalho futuro, levando-se em consideração a integridade e autenticidade dos dados, o protocolo de comunicação poderia ser aprimorado para garantir a origem das mensagens.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC pelo apoio financeiro por meio do Termo de Outorga N° 2014TR3656, Edital Chamada Pública FAPESC N° 04/2014.

Referências

- Bodic, G. L. (2005), *Mobile Messaging Technologies and Services: SMS, EMS And MMS*. 2. ed. England: John Wiley & Sons, Ltd, ISBN: 978-0-470-01143-0
- Bustamante, T. G. C. (2010), *Impactos da chuva na ocorrência de deslizamento de terra e inundações no Estado de São Paulo, dissertação de mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos – SP*

- Cihar, M. (2013), Gammu. [S.I]: Gammu. Disponível em: <<http://wammu.eu/gammu/>> Acesso em: 05 mai. 2014
- Cytron. (2012), HC-SR04 User's Manual V1.0. Disponível em: <<http://www.jarzebski.pl/datasheets/HC-SR04.pdf>> Acesso em: 05 mai. 2014
- Debian Organization. Package: gsm-utils (1.10-13.2). 2014. Disponível em: <<https://packages.debian.org/wheezy/gsm-utils>> Acesso em: 05 mai. 2014
- Ferreira, R. A. (2009), Classe para executar comandos no sistema (UNIX/WIN). Disponível em: <<http://javafree.uol.com.br/topic-4160-Classe-para-executar-comandos-no-sistema-UNIX-WIN.html>>. Acesso em: 20 out. 2014
- Ribeiro, A. e Medeiros, D. (2010), Sistema de monitoramento do nível de água utilizando sensor capacitivo, XVIII Congresso Brasileiro de Automática, pp 2425-2428, Bonito-MS, Setembro
- Sakib, S. N., Ane, T., Matin N. e Kaiser, M. S. (2016), An intelligent flood monitoring system for Bangladesh using wireless sensor network, *5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, Dhaka, 2016, pp. 979-984
- SAMAE. (2017), Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. Disponível em: <<http://www.samaesbs.sc.gov.br>>. Acesso em: 09 fev. 2017
- Slongo, J. S., Ofuchi, C. Y., Neves Jr., F. e Arruda, L. V. R. de. (2016), Medição de Velocidade de Escoamentos Monofásicos Turbulentos por Análise de Modulação de Sinais Ultrassônicos, 12th International Conference on Industry Applications (INDUSCON), Curitiba
- The Raspberry Foundation. Raspberry PI. 2014. Disponível em: <<http://www.raspberrypi.org>>. Acesso em 15 jun. 2014
- Tompkins, D. (2017), Fbcmd Site. Disponível em: <<http://fbcmd.dtompkins.com>>. Acesso em: 24 mar. 2017
- Vunabandi, V., Matsunaga, R., Markon, S. e Willy, N. (2015), Flood sensing framework by Arduino and Wireless Sensor Network in Rural-Rwanda *IEEE/ACIS 16th International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)*, Takamatsu, 2015, pp. 1-6
- Yoshizaki, R. e Filho, P. B. (2015), Water volume measuring system using the capacitive sensor technique, *IEEE Latin America Transactions* 13.12: 3803-3806