

Automação de baixo custo como alternativa para monitoramento hidrológico

Luis Hamilton Pospissil Garbossa¹, André Luis Tortato Novaes² e Katt Regina Lapa³

Resumo – Para gerenciar adequadamente os recursos hídricos, um componente básico é o conhecimento do comportamento hidrológico da região de interesse obtido através da aquisição de dados por meio de monitoramento ambiental automatizado. No entanto, o custo de equipamentos profissionais sofisticados de monitoramento hidrológico pode ser proibitivo para muitos locais ao redor do mundo. Este trabalho teve como objetivo desenvolver e testar uma plataforma de coleta de dados de baixo custo (PCD-B) que pode ser usada para adensar a rede de monitoramento hidrológico para precipitação, pequenos rios e temperatura da água. As medições realizadas com os sensores de baixo custo foram comparadas àquelas feitas com sensores profissionais e apresentaram resultados excelentes. O pluviômetro de balsa registrou 100% das medições, o sensor de distância coletou dados corretamente em 97,3% das medições e o coeficiente de determinação foi maior que 0,99 para a temperatura da água e do ar. A PCD-B foi mantida ativada e coletando dados por mais de 150 dias sem grandes problemas. As peças usadas na solução de baixo custo têm, aproximadamente, 9% do custo de uma solução profissional.

Termos para indexação: monitoramento; hidrologia; microprocessador

Low cost automation as an alternative for hydrological monitoring

Abstract – To properly manage water resources a key component is the data acquisition through environmental monitoring. However, the cost of professional sophisticated hydrological monitoring equipment's may be prohibitive for many locations around the world. This work aimed to develop and test a low-cost data collection platform (PCD-B) to be used to densify the hydrological monitoring network for rainfall, small rivers level and water temperature. Low cost sensors were compared to professional ones and presented an excellent result, with 100% of the tipping bucket rain records, distance sensor recorded correctly 97.3% and the coefficient of determination greater than 0.99 for water and air temperature. The PCD-B was kept active and collecting data over 150 days without serious problems. The low-cost solution parts have, approximately, 9% of the cost of a professional solution.

Index terms: monitoring; hydrology; microprocessor

Introdução

Um componente-chave para gerenciar adequadamente os recursos hídricos é a aquisição de dados por meio de monitoramento hidrológico. A gestão e o uso dos recursos hídricos requerem o conhecimento do comportamento hidrológico das bacias e os dados como precipitação e nível dos rios são a base para estes estudos. Os estudos de disponibilidade de água devem ser realizados com base nas melhores informações disponíveis (SANTOS et al., 2013). O monitoramento de campo nos permite identificar mudanças que podem ocorrer no regime hidrológico como resultado das mudanças climáticas, uso e ocupação do solo e uso da água. Nas

últimas décadas, diversos instrumentos de monitoramento hidrológico foram desenvolvidos e comercializados, apresentando um avanço significativo na capacidade de gerar grandes bancos de dados hidrológicos para apoiar engenheiros, órgãos ambientais e tomadores de decisão. Vários sistemas de monitoramento remoto em tempo real foram implantados por instituições científicas, agências governamentais e indústrias (DAOKUN et al., 2013; EPAGRI, 2020). No entanto, o custo de equipamentos sofisticados de monitoramento hidrológico pode ser muito elevado em diversos locais ao redor do mundo, principalmente para monitorar pequenas bacias hidrográficas ou mesmo para densificação de redes hidrológicas (WMO, 2012).

Praticamente não há monitoramento hidrológico de pequenas bacias hidrográficas para apoiar projetos locais, pequenas cidades e agricultores (GARBOSSA & PINHEIRO, 2015; GARBOSSA et al., 2018). Melo et al. (2020) identificaram apenas 28 bacias experimentais com monitoramento ativo em todo o Brasil sendo que mais da metade são de bacias com menos de 20km², confirmando a carência de monitoramento hidrológico em pequenas bacias.

Um dos motivos é que existem poucas tecnologias disponíveis e baratas. Este trabalho tem como objetivo desenvolver e testar uma plataforma de coleta de dados de baixo custo (PCD-B) que pode ser usada para adensar redes de monitoramento hidrológico profes-

Recebido em 8/5/2020. Aceito para publicação em 12/9/2020.

¹ Engenheiro, Dr., Epagri/Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram), 88034-901 Florianópolis, SC, fone (48) 3665-5162, e-mail: luisgarbossa@epagri.sc.gov.br.

² Engenheiro-agrônomo, MSc., Epagri/Cedap, 88034-901 Florianópolis, SC, fone (48) 3665-5052, e-mail: novaes@epagri.sc.gov.br.

³ Professora, Dra, UFSC/Dpto. Aquicultura, Florianópolis, SC, fone (48) 3721-5471, e-mail: katt.lapa@ufsc.br.

sionais ou monitorar pequenas bacias hidrográficas com foco em precipitação, umidade e temperatura do ar, nível de pequenos rios e temperatura da água. O protótipo PCD-B foi baseado na plataforma eletrônica Arduino⁵ associada a sensores de baixo custo como placa GSM, sensor de temperatura, relógio em tempo real, painel solar e bateria de 12 V-7Ah. A PCD-B foi desenvolvida para dispor das seguintes funções: (1) monitorar em tempo real parâmetros como precipitação, nível de pequenos rios e temperatura da água; (2) capacidade de armazenamento de dados na própria PCD-B; (3) Transmissão de dados para um servidor remoto. Este trabalho visou avaliar uma solução local de baixo custo para a plataforma de monitoramento hidrológico. A proposta é que a PCD-B seja capaz de fornecer dados com qualidade e confiabilidade suficientes ao ponto de ser considerada como alternativa para adensar a rede hidrológica em pequenas bacias hidrográficas.

Material e métodos

Os equipamentos usados neste estudo podem ser divididos em dois conjuntos: Os sensores profissionais, juntamente com o registrador de dados usados como referência nas medições e aqui considerados como solução de alto custo (SAC); e os equipamentos usados no desenvolvimento da PCD-B, considerados como solução de baixo custo (SBC). A Tabela 1 apresenta uma lista dos principais equipamentos utilizados no estudo, excluindo peças semelhantes para as duas soluções.

Os autores não recomendam nenhum equipamento em específico apresentado neste trabalho. Porém, a Tabela 2 apresenta os links para as especificações dos principais equipamentos e componentes usados, permitindo aos leitores acesso às informações qualitativas e detalhes das características dos componentes usados.

O experimento foi baseado na montagem e comparação de duas PCD. A primeira PCD foi montada com peças consideradas SAC, ou seja, equipamentos bem estabelecidos, geralmente implantados para monitoramento pro-

Tabela 1. Lista dos equipamentos usados e seu custo Fonte: adaptado de GARBOSSA et al., 2019.

Table 1. List of used parts and their cost. Author: adapted from GARBOSSA et al., 2019.

Descrição	Solução	Custo no Brasil (Fev/2020)
Sensor de temperatura ¹	SAC	R\$ 1.200
Sensor piezoelétrico (10 m)	SAC	R\$ 9.000
Sensor temperatura e umidade	SAC	R\$ 2.600
Modem GPRS / JAVA	SAC	R\$ 2.400
Datalogger profissional	SAC	R\$ 6.000
	Total SAC	R\$ 21.200
Microcontrolador Arduino Mega	SBC	R\$ 100
Módulo RTC 1302	SBC	R\$ 25
Sensor de temperatura - DS 18B20	SBC	R\$ 20
Sensor de distância HC-SR04 (5 m)	SBC	R\$ 20
Sensor temp./ umid. do ar DHT 22	SBC	R\$ 50
Módulo GSM/GPRS SIM900	SBC	R\$ 230
Módulo cartão SD	SBC	R\$ 10
Módulo LCD 16 x 2	SBC	R\$ 30
	Total SBC	R\$ 485
Partes comuns ²	TOTAL	R\$ 1.700

¹ Foram realizados testes de temperatura da água comparando os dados do sensor de temperatura de uma sonda multiparâmetros e um sensor profissional.

² Peças semelhantes para as duas soluções não são detalhadas na tabela (pluviômetro, painel solar, controlador de carga, bateria de 12V / 7Ah e fiação).

Tabela 2. Lista dos links para especificações técnicas dos equipamentos usados

Table 2. List of the links for the technical specs of the used parts

	Descrição	Link para especificações técnicas
SAC	Sensor de temperatura	https://www.campbellsci.com/109
	Sensor piezoelétrico	https://nivetec.com.br/wp-content/uploads/2019/05/NT_MN_Nivetec_S780.pdf
	Sensor temp. e umid	https://www.dualbase.com.br/produtos/sensores/temperatura-e-umidade-relativa/sth-01
	Modem GPRS / JAVA	https://duodigit.com.br/produtos/telemetria/terminal-java-tc65i/
	Datalogger profissional	https://www.campbellsci.com.br/cr200x
SBC	Microcontrolador Arduino Mega 2560	https://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/arduinoBoardMega2560
	Módulo RTC 1302	https://components101.com/ics/ds1302-rtc
	Sensor de temperatura - DS 18B20	https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf
	Sensor de distância HC-SR04	https://components101.com/ultrasonic-sensor-working-pinout-datasheet
	Sensor temp./umid. do ar DHT 22	https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf
	Módulo ethernet	https://store.arduino.cc/usa/arduino-ethernet-shield-2
	Módulo GSM/GPRS SIM900	https://www.itead.cc/wiki/SIM900/SIM900A_GSM/GPRS_Minimum_System_Module
	Módulo cartão SD	http://datalogger.pbworks.com/w/file/attach/89507207/Datalogger%20-%20SD%20Memory%20Reader%20Datasheet.pdf

⁴ <https://www.arduino.cc/>

fissional e contínuo do ambiente no estado de Santa Catarina, Brasil (BLAINSKI et al., 2012; EPAGRI, 2020). Na segunda montagem, a PCD-B foi construída usando peças consideradas como SBC. As peças da SBC são facilmente obtidas em qualquer loja de eletrônica. Para este projeto, uma infraestrutura de um servidor de dados com banco de dados Oracle estava disponível (EPAGRI, 2020). A estrutura do banco de dados é uma parte essencial do sistema e de custo elevadíssimo, mas não foi objeto do presente estudo. Alternativas de menor custo para o banco de dados estão disponíveis atualmente (LUZANOV et al., 2018, KREIBICH, 2010). Porém precisam de mão de obra especializada na área de informática.

O esquema de montagem da PCD-B pode ser observado na Figura 1. As linhas coloridas representam as diferentes conexões e funções na montagem. A linha vermelha está relacionada à fonte de alimentação; a linha verde representa a parte do equipamento usada para a operação básica; as linhas azuis representam sensores conectados para monitoramento do ambiente; e a linha amarela está relacionada à transmissão de dados.

O código de programação do microcontrolador foi desenvolvido para atender às necessidades do estudo. No entanto, as bibliotecas que controlam os sensores, exceto o pluviômetro de balsa, foram obtidas diretamente a partir do Ambiente Integral de Desenvolvimento (IDE) do Arduino (BLUM, 2016) e, portanto, são facilmente acessíveis por qualquer usuário. O IDE do Arduino usado para programar o microcontrolador é de código aberto e pode ser baixado da Internet, enquanto o *software* da solução profissional é proprietário e pago. No entanto, é importante notar que tanto SBC quanto a SAC exigem conhecimentos básicos de eletrônica e programação.

Após a montagem da PCD-B foram realizados diversos testes para verificar a confiabilidade das medições. O primeiro teste foi verificar o pluviômetro de balsa, que a cada movimento da balsa produz um pulso elétrico que deve ser acumulado por um contador digital. O teste foi, basicamente, contar o número de pulsos simulados manu-

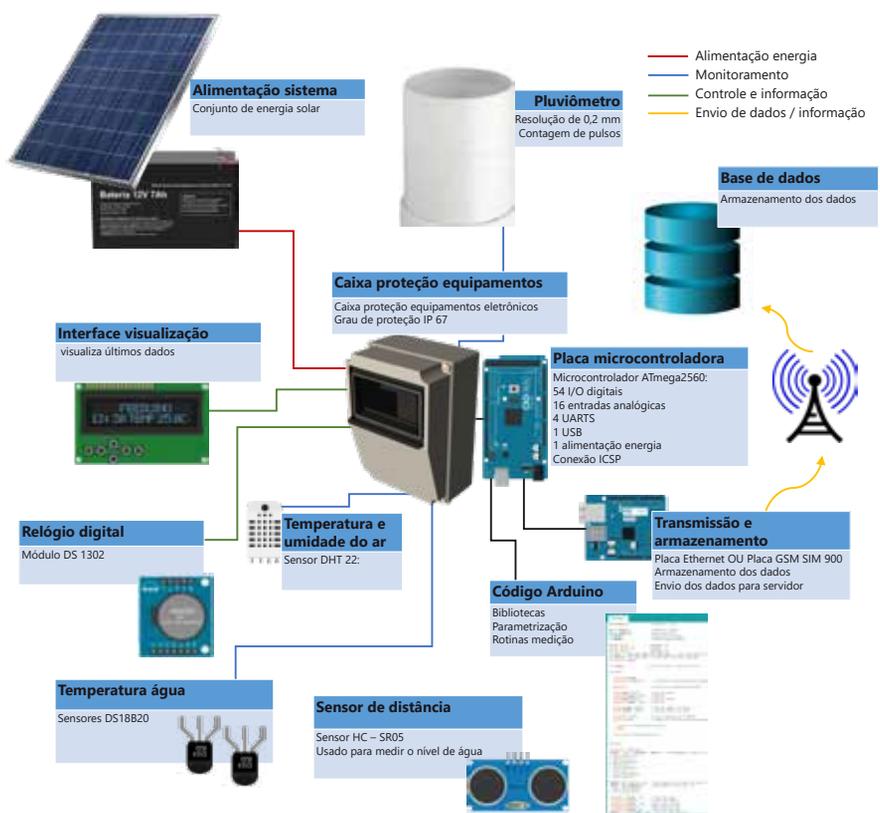


Figura 1. Esquema de montagem usado no desenvolvimento da PCD-B. Fonte: adaptado de GARBOSSA et al., 2019.

Figure 1. Assembly diagram used in the development of PCD-B. Author: adapted from GARBOSSA et al., 2019.

almente e verificar se a PCD-B contava corretamente o número de pulsos. Para converter o número de pulsos em altura de chuva, deve-se multiplicar as contagens pela capacidade do pluviômetro. Neste caso, foi utilizado um pluviômetro convencional e cada pulso representa 0,2mm de altura da chuva. O segundo teste teve como objetivo verificar a estabilidade das leituras de temperatura comparando as séries temporais registradas pelas duas soluções e usando o coeficiente de determinação (r^2), os valores médios e a existência de diferença entre a distribuição dos valores das amostras através do teste *one-way* Anova. Todos os sensores foram colocados próximos um dos outros em uma sala enquanto amostravam a temperatura. O terceiro teste verificou a capacidade do sensor de distância, que pode ser usado para monitorar nível de riachos e vertedores (até 4m), em reproduzir de forma confiável e contínua uma distância conhecida. O quarto teste teve como objetivo avaliar a capacidade da PCD-B de armazenar dados medidos em um

cartão SD e enviar os dados registrados para um servidor de dados usando um modem *General Packet Radio Services* (GPRS) ou rede Ethernet. Finalmente, a PCD-B foi mantida em operação por 156 dias para avaliar sua capacidade de trabalho e a durabilidade.

Resultados e discussão

O primeiro teste com o contador de pulsos do pluviômetro de balsa, o qual é uma implementação simples, resultou em 100% de registros. Foi possível contar todos os pulsos sem detectar nenhum erro nas leituras. Os testes foram feitos para contagem de 100 pulsos divididos em quatro vezes. Os erros que podem ocorrer estão associados com a tecnologia do pluviômetro de balsa. Porém, neste caso tanto a SAC como a SBC apresentarão erros nas medições (HABIB et al., 2001; LUIZ et al., 2013).

O segundo teste teve como objetivo verificar os sensores da SBC de temperatura da água e do ar com os sensores de temperatura da SAC. Mais de 9.300

leituras de cada um dos sensores foram usadas neste teste e os resultados são apresentados na Figura 2. Os acrônimos usados para identificar os sensores são os seguintes: TH-SBC (temperatura da água com sensor de baixo custo); TAR-SBC (temperatura do ar com sensor de baixo custo); T-SAC (Sensor de temperatura profissional de alto custo). A variação de temperatura durante o experimento foi de 16,1°C até 27,3°C.

As medidas de temperatura do T-SAC foram usadas como referência. Os resultados mostram que TH-SBC e TAR-SBC apresentaram resultados semelhantes às medidas de T-SAC. Os valores médios dos sensores T-SAC, TH-SBC e TAR-SBC são $21,8 \pm 2,2$, $21,7 \pm 2,3$ e $21,8 \pm 2,2$, respectivamente. Essa é uma forte evidência de que é possível usar a PCD-B para monitorar a temperatura da água e do ar. A umidade relativa do ar também foi monitorada com uma SBC. Porém, não havia sensor para SAC disponível para comparação e, portanto, esses dados não foram usados neste trabalho. Outro resultado estatístico que corrobora a confiabilidade dos sensores é o coeficiente de correlação r^2 de 0,991 e 0,992 para T-SAC vs. TH-SBC e T-SAC vs. TAR-SBC, respectivamente. O valor-p obtido com o teste Anova é igual a 0,093 ($p > 0,05$) e logo não há diferença significativa entre os três sensores. Contudo, é possível identificar na Figura 2 que existe alguma dispersão dos valores medidos. Parte dessa dispersão pode ser explicada por um problema experimental. Todos os sensores estavam fisicamente próximos. No entanto, os sensores T-SAC foram submersos em um frasco de 400mL de água da torneira, enquanto os sensores TH-SBC e TAR-SBC estavam ao lado, fora da água. Portanto, as diferenças observadas na Figura 3 devem ser parcialmente explicadas pela diferença na cinética de transferência de calor do ar e da água em eventos de variação repentina da temperatura do ar.

Foi realizado um teste simples para verificar a resistência dos sensores SBC, de temperatura, à oxidação, sendo dois sensores mantidos no ar, dois sensores em água doce e dois sensores em água salobra por 90 dias. Os sensores mantidos no ar e na água doce apresentam pequenos pontos avermelhados no corpo metálico e continuaram funcio-

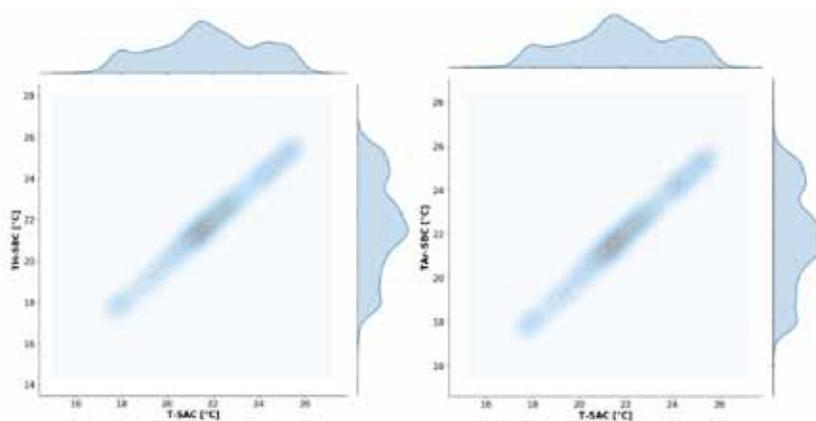


Figura 2. Comparação gráfica entre os conjuntos de dados de temperatura obtidos com (a) sensor de temperatura da água versus dados sensor de temperatura profissional e (b) sensor de temperatura do ar de baixo custo versus sensor de temperatura profissional. Fonte: adaptado de GARBOSSA et al., 2019.

Figure 2. Graphical comparison between selected temperature data sets with (a) water temperature sensor versus multi-parameter probe data and (b) low cost air temperature sensor versus professional water temperature sensor. Author: adapted from GARBOSSA et al., 2019.

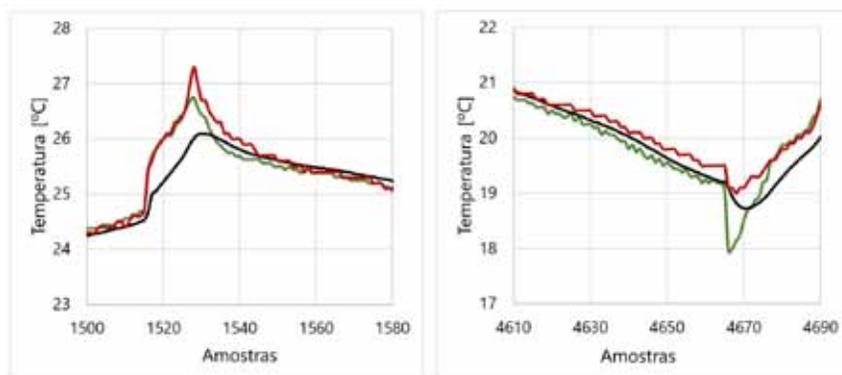


Figura 3. Diferenças nas temperaturas medidas em um instante de máxima temperatura do dia (a) e em um instante de mínima (b) com T-SAC em preto, temperatura do ar em vermelho e temperatura da água em verde. Fonte: adaptado de GARBOSSA et al., 2019.

Figure 3. Differences in temperatures measured at an instant of maximum temperature of the day (a) and at an instant of minimum temperature (b) with T-SAC in black, air temperature in red and water temperature in green. Author: adapted from GARBOSSA et al., 2019.

nando, enquanto os sensores na água salobra tiveram a cápsula metálica perfurada pela oxidação e pararam de funcionar.

O sensor de distância, usado nas medições do nível da água, foi montado sobre uma estrutura fixa e mantido a 32cm de distância de uma barreira física. Mais de 13 mil leituras foram realizadas. Ao verificar as leituras, foram identificados 348 erros de leitura, equivalente a 2,7% do total. Apesar do percentual de erros, as leituras úteis resultaram em um valor médio de $32,2 \pm 0,4$ cm, um excelente resultado com desvio padrão reduzido. A rotina computacional usada para leitura da distân-

cia pode ser reprogramada no intuito de reduzir o percentual de leituras erradas. Isso pode ser feito implementando uma rotina de verificação das leituras com base no desvio padrão de uma série de leituras instantâneas. Se o desvio padrão não atender a um valor máximo predefinido, novas leituras podem ser obtidas em um loop máximo predefinido. O próximo passo necessário é testar o mesmo sensor para avaliar sua capacidade de leitura em superfície de águas turbulentas, sujeitas a ondulações de alta frequência.

Todas as leituras realizadas durante o experimento foram salvas no cartão SD associado ao microcontrolador. Foi obti-

do 100% de sucesso no armazenamento de dados, cumprindo plenamente sua função. Também foi possível transmitir dados de forma contínua para o servidor de dados por um protocolo usando a solicitação HTTP POST. Dois módulos do Arduino foram testados, um módulo Ethernet e um módulo GPRS. O módulo ethernet funcionou corretamente, mas pode ser usado apenas em locais onde a conexão à internet está disponível através de cabo, o que não é uma realidade no monitoramento hidrológico. Ademais, a placa Ethernet testada consome muita energia, esgotando a bateria rapidamente. O módulo GPRS funcionou adequadamente, porém, houve aumento significativo na falha de transmissão de dados. Para reduzir o número de falhas de transmissão deve ser implementada uma rotina adicional a fim de verificar se os dados foram recebidos pelo servidor e, em caso negativo, fazer nova tentativa até um limite predeterminado de tentativas.

A PCD-B foi operada por mais de 150 dias e todos os sensores da SBC funcionaram continuamente durante esse período. Considerando que as visitas preventivas de manutenção nas PCD hidrológicas ocorrem, sistematicamente, em intervalos de 3 meses, pode-se presumir que este equipamento pode ser usado continuamente. Propostas similares estão em diversas partes do mundo com a possibilidade de agregar outros sensores (BOKINGKITO & LLANTOS, 2017).

O custo das peças de uma SAC profissional é de, aproximadamente, R\$ 21.200, enquanto a solução da PCD-B é de R\$ 485, o que permite a substituição de componentes sem grandes despesas. Esses custos não consideram a caixa de proteção, estrutura de suporte metálico, bateria, controlador de carga, painel solar e fiação com valor aproximado de R\$ 1.700 e necessários para ambas as plataformas (BLAINSKI et al., 2012). Ao incluir as partes de uso comum, a PCD-B representa cerca de 10% do custo da solução profissional. Se forem consideradas apenas as peças substituídas, o custo da PCD-B pode representar apenas 2% do valor.

É importante destacar que todos estes ensaios foram realizados em laboratório em condições controladas. A próxima etapa deverá prever testes des-

ta solução a campo, ao lado de soluções profissionais para avaliar sua robustez quando exposta a intempéries. Ademais, durante o desenvolvimento dos testes, um grande problema encontrado foi o alto consumo de energia pelo microprocessador. Este problema exige adequações nas rotinas para redução do consumo de energia e assim evitar problemas de esgotamento da bateria durante períodos de baixa radiação solar.

Conclusões

- A PCD-B demonstrou grande potencial para ser usada como solução de baixo custo para aplicações em redes secundárias.

- A PCD-B pode ser usada para fornecer dados e apoiar a tomada de decisão em locais que não dispõem de monitoramento hidrológico oficial, apoiando a gestão de recursos hídricos.

Agradecimentos

O trabalho de pesquisa foi financiado pela Epagri, que forneceu as peças e a infraestrutura necessárias para realização dos ensaios.

Referências

BLAINSKI, E.; GARBOSSA, L.H.P.; ANTUNES, E.N. **Estações hidrometeorológicas automáticas: recomendações técnicas para instalação**. Florianópolis: Epagri, 2012, 43p. (Epagri, Documentos, 240)

BLUM, J. **Explorando o Arduino: Técnicas e ferramentas para mágicas de engenharia**. 1 ed. Alta Books, Rio de Janeiro, 2016, 384 p.

BOKINGKITO, P.B.; LLANTOS, O.E. Design and Implementation of Real-Time Mobile-based Water Temperature Monitoring System. **Procedia Computer Science**, v.124, p.698-705, 2017.

DAOKUN, M.; QISHENG, D.; ZHENBO, L.; DAOLIANG, L.; YAOGUANG, W. Prototype of an Aquacultural Information System Based on Internet of Things E-Nose. **Intelligent Automation & Soft Computing**, v.18, p.569-579, 2013.

HABIB, E.; KRAJEWSKI, W.F.; KRUGER, A. Sampling errors of tipping-bucket rain gauge measurements. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.6, n.2, p.159-166, 2001.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2020. 20p. (Epagri, Documentos, 310)

GARBOSSA, L.H.P.; NOVAES, A.L.T.; LAPA, K.R. Low-Cost Automation for Hydrological Monitoring in Water Resources Management. In: International Electronic Conference on Water Sciences, 4th, 2019, *On-line*. International Electronic Conference on Water Sciences. **Proceedings[...]** Suíça: MDPI, 2019. p. 1-6.

GARBOSSA, L.H.P.; PINHEIRO, A. Vazões de referência para gestão de bacias hidrográficas rurais e urbanas sem monitoramento. **Revista de Gestão de Água da América Latina**. v.12, p.43-52, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v12n1.p43-52>

KREIBICH, J.A. **Using SQLite – Small. Fast. Reliable. Choose Any Three**. 1 ed O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, CA, 2010, 503 p.

LUIZ, W.; SAKAGAMI, Y.; SCOLARO, D.; REGIS, A.; DIAS, R.A.; STEINBACH, R. Intercomparação de pluviômetros de balança por meio de um sistema de verificação em laboratório. In: Seminário de extensão e inovação do IFSC, 2013, Florianópolis. **Anais[...]** Florianópolis, 2013. p. 1-3.

LUZANOV, P.; ROGOV, E.; LEVSHIN, I. (traduzido por MANTOVA, L) **PostgreSQL for beginners**. eBook 2018. Disponível em: https://edu.postgrespro.ru/introbook_v4_en.pdf. Acesso em: 1 Abril 2020.

MELO, D.C.D.; ANACHE, J.A.A.; ALMEIDA, C.N.; COUTINHO, J.V.; RAMOS FILHO, G.M.; ROSALEM, L.M.P.; PELINSON, N.S.; FERREIRA, G.L.R.A.; SCHWAMBACK, D.; CALIXTO, K.G.; SIQUEIRA, J.P.G.; DUARTE-CARVAJALINO, J.C.; JHUNIOR, H.C.S.; NÓBREGA, J.D.; MORITA, A.K.M.; LEITE, C.M.C.; GUEDES, A.C.E.; COELHO, V.H.R.; WENDLAND, E. The big picture of field hydrology studies in Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v.65, n.8, p.1262-1280, 2020.

SANTOS, P.V.C.; CUNHA, A.C. Outorga de recursos hídricos e vazão ambiental no Brasil: Perspectivas metodológicas frente ao desenvolvimento do setor hidrelétrico na Amazônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, p.81-95, 2013.

WMO. **The 5 Essential Elements of a Hydrological Monitoring Programme**. World Meteorological Organization Bulletin. 2012, 61, Disponível em: <https://public.wmo.int/en/bulletin/5-essential-elements-hydrological-monitoring-programme>. Acesso em: 1 Set. 2019. ■