

**I-812 - SISTEMA DE MEDIÇÃO DE NÍVEL D'ÁGUA USANDO
MICROCONTROLADOR E SENSOR ULTRASSÔNICO PARA ESTIMATIVAS
DE CONSUMO EM REDE DE ABASTECIMENTO D'ÁGUA DE UMA
INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR**

Fellype Guilherme Ramalho Guerra da Silva⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Cariri. Bolsista pela Universidade Federal do Cariri no projeto de iniciação científica denominado "Decaimento de cloro residual livre em rede de distribuição d'água de uma instituição federal de ensino superior" (2022-Atualmente). Membro do grupo de pesquisa "TECNOLOGIA, RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE NA REGIÃO DO CARIRI/CE".

Jaqueline Vígolo Coutinho⁽²⁾

Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) (2019). Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (2016). Ocupa o cargo de engenheira ambiental na Universidade Federal do Cariri (UFCA).

Fernanda Alves Damasceno⁽³⁾

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Cariri. Membro do Laboratório de Estudos Urbanos, Sustentabilidade e Políticas Públicas. Bolsista CNPQ no projeto de iniciação científica denominado "Planejamento, gestão territorial e integração metropolitana nas capitais regionais cearenses (Juazeiro do Norte e Sobral): Uma análise comparativa".

Paulo Roberto Lacerda Tavares⁽⁴⁾

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (2010). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (2005). Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (2002). Ocupa o cargo de Professor Associado 4 da Universidade Federal do Cariri, no curso de graduação em Engenharia Civil e de Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Área de Concentração Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Felipe Cavalcante da Rocha⁽⁵⁾

Graduado em Física pela Universidade Federal do Ceará (2003). Ocupa o cargo de Técnico de Laboratório de Física do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Cariri. Tem experiência na área de Engenharia de Software, atuando principalmente como desenvolvedor para automação comercial e de negócios.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal do Cariri - Av. Ten. Raimundo Rocha, 1639 - Cidade Universitária, Juazeiro do Norte - CE - CEP: 63048-080 - Brasil - e-mail: fellype.guilherme@aluno.ufca.edu.br

RESUMO

Em uma instituição de ensino superior, as atividades acadêmicas e administrativas demandam um consumo de água variável em função dos períodos letivos. O monitoramento dessa variabilidade pode contribuir consideravelmente para com a gestão de sistemas dessa natureza, como na identificação de vazamentos e na garantia da eficiência de tratamento por desinfecção - em sistemas com tratamento próprio. Desse modo, desenvolveu-se um sistema para medição de nível de água, contando com um microcontrolador ESP-32, modelo WROOM-DA Module, vinculado a um sensor ultrassônico, modelo HC-SR04. Para verificação do uso e análise da sensibilidade do protótipo desenvolvido, realizou-se testes, com o auxílio de um modelo reduzido, construído com o intuito de simular as condições de abastecimento e drenagem, que ocorrem rotineiramente em sistemas de abastecimento reais. Com base nos resultados satisfatórios apresentados ao longo da etapa anterior, o sistema foi instalado em um reservatório real, visando atestar a viabilidade em sua aplicação, comparando os dados obtidos por meio deste, com aqueles obtidos de maneira convencional. Ao fim do experimento, foi possível visualizar que, os resultados alcançados são satisfatórios, uma vez que apresentaram erro médio de 4,89%, quando comparam-se os valores obtidos de maneiras distintas, para o volume de consumo.

PALAVRAS-CHAVE: ESP32; Tanque; Modelo hidráulico; Cariri Cearense.



INTRODUÇÃO

As instalações, que objetivam promover o abastecimento de água para a população, devem ser capazes de fornecer água com qualidade e regularidade adequadas, respeitando seus pontos de coleta, e considerando demandas atuais e futuras. Em uma instituição de ensino superior, por exemplo, as atividades acadêmicas e administrativas acabam por apresentar um consumo de água variável em função dos períodos letivos. O monitoramento dessa variabilidade pode contribuir na identificação de vazamentos de água e na eficiência de tratamento por desinfecção - naqueles sistemas com tratamento próprio. Cabe assim, aos profissionais encarregados de planejar, projetar, implantar, operar, e gerenciar as instalações de abastecimento de água, ter presente essa realidade, e ter a capacidade de considerá-la durante a realização de suas atividades (Heller; Pádua, 2006).

O entendimento do uso da água e de perfil de consumo é possível com informações detalhadas dos usuários que devem ser obtidas com precisão para serem confiáveis (Marzall; Nascimento, 2023). A aplicabilidade de modelos de redes hidráulicas depende da precisão dos dados de entrada (Ormsbee; Lingireddy, 1997), como o consumo de água.

Visto que, o processo de abastecimento de água é composto por uma série de sistemas com particularidades e finalidades distintas, se torna um desafio, administrá-lo de maneira efetiva, sem o auxílio de ferramentas adequadas para esta finalidade (Melnik, 2015). O desenvolvimento de tecnologias vem potencializando o monitoramento de redes de distribuição com a automação de medições em tempo real de pressão, vazão e nível d'água e, conseqüentemente, a implementação de modelagem hidráulica para otimizar a operação desse sistema (Melo; Henrique, 2018; Righetto, 2001). Além disso, a automação dessas tecnologias de medição de variáveis na rede de abastecimento, fornece dados com elevada resolução temporal em certas formas de distribuição probabilística (Chu et al., 2020).

Esse monitoramento pode ser realizado, programando em computadores, um microcontrolador acompanhado por sensores capazes de medir variáveis de interesse, além de dispositivos para armazenamento dos dados (Torres et al., 2015). Aliada à importância do monitoramento dessas variáveis, o computador é componente essencial de um sistema de aquisição de dados em que sensores são utilizados para “ler” o ambiente contribuindo na validação de hipóteses amparadas nas teorias vigentes ou mesmo atuando sobre o ensino (Martinazzo et al., 2014).

Embasando-se nessas informações, evidencia-se a necessidade da aplicação de ferramentas destinadas a monitorar as características funcionais de sistemas de abastecimento, com o fito de promover o seu bom funcionamento. Portanto, o presente trabalho contém estudos realizados acerca do desenvolvimento de um sistema de medição de nível d'água, utilizando um microcontrolador associado a um sensor ultrassônico, para estimativas de consumo em rede de abastecimento de uma instituição de ensino superior.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, com o sistema planejado (Figura 1), realizou-se a montagem de um protótipo, utilizando o microcontrolador ESP32, modelo WROOM-DA Module, uma placa de desenvolvimento, que possui uma série de recursos que possibilitam e viabilizam projetos das mais diversas naturezas. Este, foi responsável por administrar, operar e encaminhar ao banco de dados, as leituras registradas pelo sensor ultrassônico vinculado, o HC-SR04.

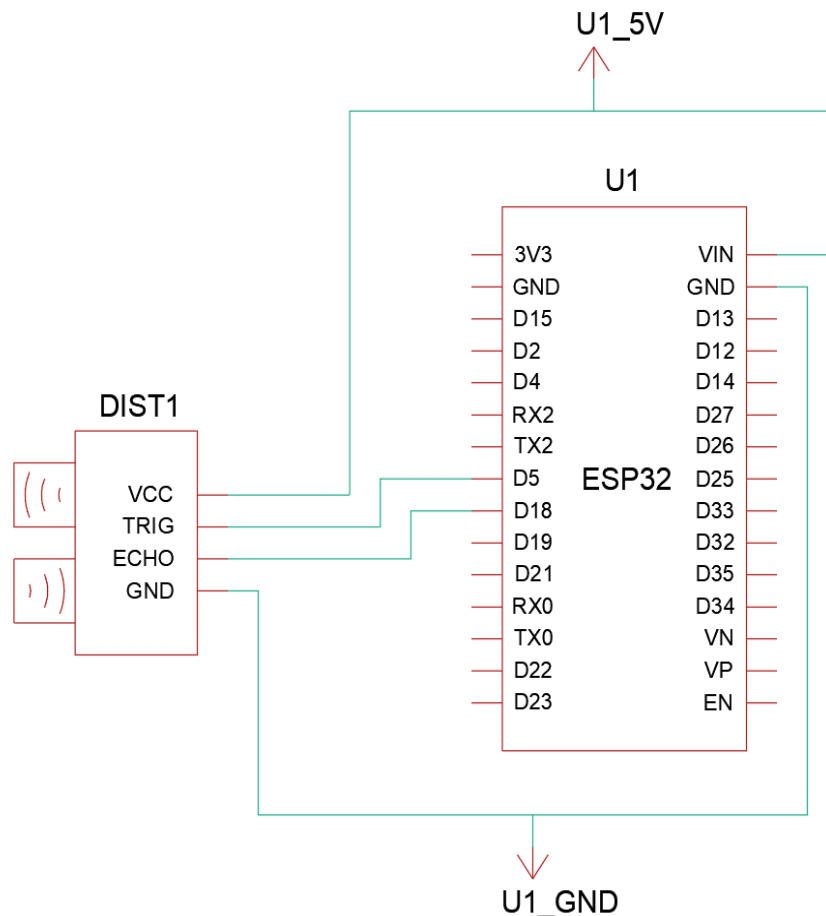


Figura 1: Esquema de circuito do sistema desenvolvido. DIST1 é a representação do sensor ultrassônico, ESP32 a do microcontrolador, U1_GND é a tensão de saída, U1_5V é a ligação à fonte de alimentação. Os demais símbolos são dos pinos de conexão disponíveis.

Este sensor é capaz de medir distâncias de 2 cm a 4 m com ótima precisão e custo reduzido, possuindo um circuito pronto com emissor e receptor acoplados (Cytron Technologies, 2013). Desse modo, torna-se possível registrar em função do tempo, a variação de nível dos reservatórios, e correlacionando-a com suas dimensões, encontrar a variação de volume durante esse intervalo de tempo.

Posteriormente, iniciou-se a realização do estudo que contou com duas etapas. Na primeira, realizou-se um teste para verificação do uso e análise da sensibilidade do protótipo para medição, contando com o auxílio de um modelo reduzido, construído com o intuito de simular as condições de abastecimento e drenagem, que ocorrem rotineiramente em reservatórios presentes em sistemas de abastecimento reais. Na segunda etapa, baseando-se nos resultados obtidos na primeira, foram realizados novos testes, porém dessa vez em um reservatório real, constituinte do sistema de abastecimento de uma instituição de ensino superior.

PRIMEIRA ETAPA: TESTE EM MODELO REDUZIDO

O modelo reduzido utilizado ao longo desta etapa (Figura 2) é composto por dois recipientes, (a) e (b), posicionados em cotas distintas, com o intuito de representar o reservatório superior e inferior, respectivamente, comumente vistos e empregados em redes de distribuição de água. No interior do recipiente (a) instalou-se uma fita métrica, para auxílio na verificação dos níveis da água armazenada. Para a transferência de água entre os recipientes utilizou-se uma mangueira em PVC flexível, trabalhando como sifão, e para o registro da variação de nível do reservatório, adotou-se o sistema desenvolvido

(microcontrolador com sensor ultrassônico), vinculado a um suporte em madeira responsável por garantir que o sensor ultrassônico empregado realize as leituras sempre do mesmo referencial.



Figura 2: Modelo reduzido para simulação de transferência de água entre reservatórios.

Os testes foram realizados em triplicata, com o sistema de medição posicionado no recipiente (a), para as simulações de drenagem, e posteriormente no recipiente (b), para as de abastecimento. Em cada uma buscou-se garantir que a lâmina d'água no recipiente responsável pelo abastecimento iniciasse sempre do mesmo nível, promovendo a mesma coluna d'água inicial, com duração padrão de transferência de 150 segundos.

Preliminarmente ao início do processo, manteve-se o sensor ativo, visando registrar o nível d'água inicial do recipiente que será drenado, e após, repetiu-se para o registro do seu nível d'água final. Ao fim do experimento, contou-se com o auxílio de um recipiente com graduação, para a verificação do volume de água transferido. Com esse valor e a duração do procedimento cronometrada, realizou-se o cálculo da variável denominada como “vazão média marcada”.

Com base nas informações registradas pelo protótipo, plotou-se o gráfico “cota x instante”, para que com o seu auxílio, se identificasse o nível inicial e final do reservatório, assim como o instante inicial e final do processo de transferência. Com essas informações, associadas à área superficial da lâmina gerada no recipiente, calculou-se a variável denominada como “vazão média identificada”.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Na Figura 3, é possível observar os gráficos “cota x instante” plotados para cada uma das simulações realizadas, sendo as de drenagem (i.e. esvaziamento do recipiente a) os testes 1, 2 e 3, e as de abastecimento (i.e. enchimento do recipiente b) os demais.

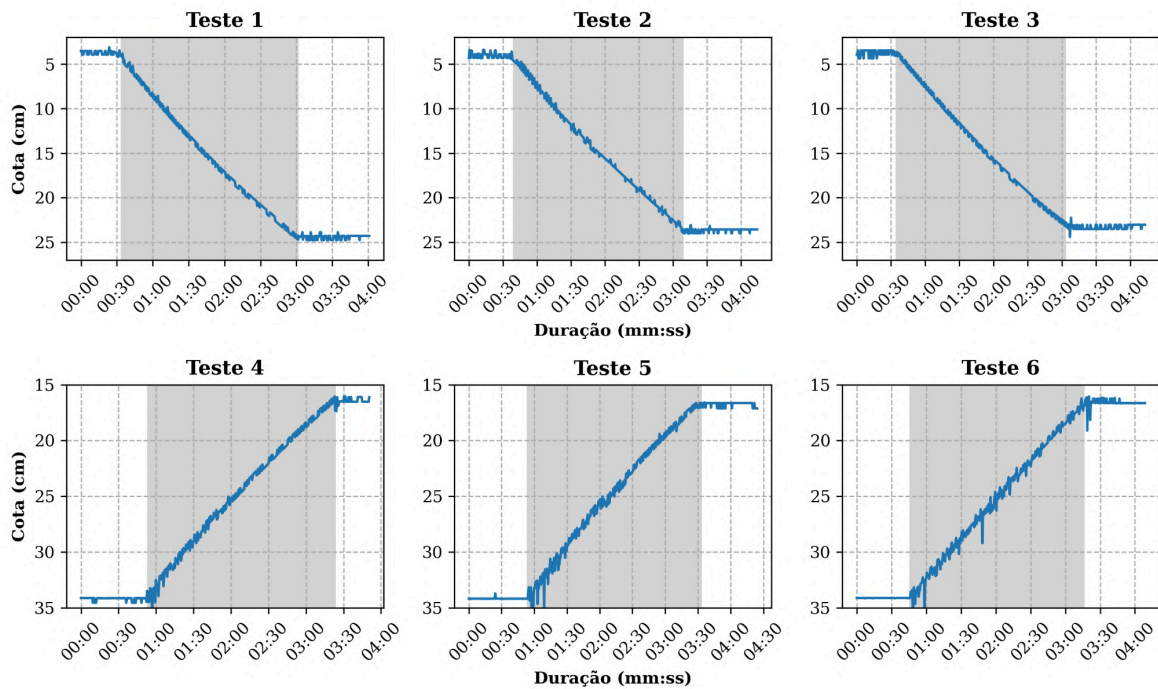


Figura 3: Gráficos “cota x instante” para cada um dos testes realizados.

A Tabela 1, contém os valores obtidos por teste, por meio dos dados coletados pelo protótipo desenvolvido. Para obtenção dos valores da lâmina d’água inicial e final em cada um dos testes, calculou-se a média dos valores registrados anteriormente e posteriormente ao processo de transferência de água entre os recipientes, assim como o desvio padrão para análise desses resultados.

Tabela 1: Valores de cota da lâmina d’água inicial e final.

Drenagem				Abastecimento			
Teste	Valor	Inicial (cm)	Final (cm)	Teste	Valor	Inicial (cm)	Final (cm)
1	Média	3,76	24,40	4	Média	34,19	16,45
	Desv. Pad.	0,2334	0,2395		Desv. Pad.	0,1874	0,2005
2	Média	4,05	23,63	5	Média	34,18	16,73
	Desv. Pad.	0,3054	0,1909		Desv. Pad.	0,0497	0,1838
3	Média	3,76	23,29	6	Média	34,12	16,61
	Desv. Pad.	0,3413	0,2494		Desv. Pad.	0,0574	0,3530

Já as tabelas 2 e 3 contém resultados comparativos, baseando-se nos valores obtidos para vazão média marcada (Coleta) e vazão média identificada (ESP), em cada um dos testes de drenagem e abastecimento. A variação de nível d’água só foi obtida utilizando o protótipo com o sensor ultrassônico.



Tabela 2: Comparativo de dados de simulação de drenagem. ESP são os dados coletados usando o protótipo do microcontrolador e sensor ultrassônico (i.e. vazão média identificada). Coleta refere-se à vazão média marcada.

Teste	Fonte	Variação de nível (cm)	Intervalo de tempo (s)	Área superficial (cm ²)	Volume drenado (cm ³)	Vazão de drenagem (cm ³ /s)	Erro (cm ³ /s)	Erro (%)
1	ESP	20,64	149	637,94	13166,45	88,37	0,97	1,08
	Coleta	-	150	637,94	13400,00	89,33		
2	ESP	19,58	151	637,94	12491,62	82,73	2,27	2,68
	Coleta	-	150	637,94	12750,00	85,00		
3	ESP	19,53	150	637,94	12458,83	83,06	1,94	2,28
	Coleta	-	150	637,94	12750,00	85,00		

Tabela 3: Comparativo de dados de simulação de abastecimento. ESP são os dados coletados usando o protótipo do microcontrolador e sensor ultrassônico (i.e. vazão média identificada). Coleta refere-se à vazão média marcada.

Teste	Fonte	Variação de nível (cm)	Intervalo de tempo (s)	Área superficial (cm ²)	Volume drenado (cm ³)	Vazão de drenagem (cm ³ /s)	Erro (cm ³ /s)	Erro (%)
4	ESP	17,74	151	637,94	11318,01	74,95	-1,95	-2,68
	Coleta	-	150	637,94	10950,00	73,00		
5	ESP	17,45	150	637,94	11130,06	74,20	-1,20	-1,64
	Coleta	-	150	637,94	10950,00	73,00		
6	ESP	17,51	151	637,94	11172,85	73,99	-0,99	-1,36
	Coleta	-	150	637,94	10950,00	73,00		

Observa-se que, para ambos os processos de transferência entre reservatórios, drenagem e abastecimento, o maior erro percentual entre a vazão calculada com dados do sistema desenvolvido e a vazão calculada com dados coletados de maneira convencional foi de aproximadamente 2,68%. Para as simulações de drenagem os erros foram positivos indicando que o dado de referência (coleta) foi superior ao medido pelo sensor ultrassônico. Já para as simulações de abastecimento, o inverso ocorreu.

A calibração do sistema composto por um microcontrolador ESP32 e um sensor ultrassônico, HC-SR04, apontou a viabilidade do seu uso para o monitoramento da variação do nível de água. A aplicação desse tipo de tecnologia para o monitoramento de fluxos de água vem sendo verificada para diversas finalidades como nos exemplos a seguir

Em testes controlados em laboratório, sob diferentes pressões, BRUNO et al. (2021) observaram que os dados obtidos por um sistema composto por sensores de pressão e de vazão conectados a um microcontrolador Arduino, resultaram em uma análise de perda de carga coerentes com os dados observados, apontando a eficiência no uso desse tipo de sistema eletrônico no monitoramento de pressão em redes de abastecimento de água.



Um protótipo utilizando o microcontrolador ESP32 e um medidor de nível automotivo, com adaptação, desenvolvido por SANTOS; CAMARGOS (2022) foi capaz de medir, exibir em uma tela LED, e transmitir sem fio, o nível de água de um reservatório residencial.

Com uma placa Arduino e um medidor de vazão, modelo YF-21, Ramos; Andrade (2015) obtiveram um erro percentual 9,02% entre medições do sensor de vazão e os medidos usando proveta graduada e temporizador, para desenvolvimento de protótipo como ferramenta de monitoramento e objeto de ensino. Também Koshoeva et al. (2021) apresentaram um erro percentual de 9% entre as vazões observadas e as obtidas por um sistema com sensor de vazão de água (YF-S201) e sensor ultrassônico (HC-SR04), acoplados a um microcontrolador Arduino.

O Sistema de Monitoramento de Nível de Água de Reservatórios, composto por microcontrolador (PIC 16F877A), sensor de pressão (representado por um potenciômetro), display LCD, e buffer (SN74HC541N), desenvolvido por Bacurau; Leal; Soares (2011), resultou em um erro relativo percentual variou de 0 a 0,52 % entre os valores medidos na régua e os obtidos pelo sistema eletrônico.

Um sistema contendo placa Arduino nano, sensor de fluxo de água 1/2" YF-S201, módulo NodeMCU ESP8266, e um display LCD 16 x 2, foi instalado em um bebedouro de uma instituição de ensino técnico e superior, como fase de teste inicial para detecção de vazamentos e desperdício de água em instalações prediais (Júnior; Menezes; Menezes, 2019).

SEGUNDA ETAPA: APLICAÇÃO EM RESERVATÓRIO REAL

Os resultados obtidos ao longo da primeira etapa, permitiram concluir que o sistema é possivelmente viável de coletar os dados da maneira prevista. Dessa forma, iniciou-se o processo de adaptação do código base, por trás do funcionamento do protótipo, buscando viabilizar o monitoramento de reservatórios reais.

Durante a realização dos testes em modelo reduzido, o sistema estava diretamente ligado ao computador, o que permitiu que os dados registrados pelo sensor HC-SR04 fossem diretamente exibidos no *monitor serial* da IDE utilizada para a programação (Arduino IDE). Todavia, em sistemas de abastecimento reais, não é sempre que há uma variação no volume de água armazenado em seus reservatórios, o que torna inviável a coleta de dados da maneira a qual estava sendo executada.

Portanto, inicialmente foram empenhados esforços para promover a conexão do protótipo a rede de internet sem fio da instituição, e posteriormente, para permitir que os dados coletados pelo sistema fossem encaminhados para uma planilha de dados online na ferramenta *Google Sheets*.

Para promover a conexão, utilizou-se de funções das bibliotecas nativas da IDE, associadas às credenciais de acesso necessárias para a rede *eduroam*. Quanto à integração do protótipo ao banco de dados, utilizou-se a extensão *Apps Script*, onde é possível programar diferentes automações. Neste caso, o sistema desenvolvido irá acessar e executar o *script* elaborado, onde está instruída a gravação dos dados na planilha.

Concluídas as devidas adaptações, instalou-se o protótipo no reservatório a ser monitorado de modo que, novamente, se garantisse a realização das leituras sempre do mesmo referencial (Figura 4).



Figura 4: Sistema instalado em reservatório real. A) Instalação do protótipo em caixa de inspeção do reservatório. B) Localização do reservatório e da casa de bombas onde também está instalado um hidrômetro.

A metodologia aplicada ao longo da realização dos testes desta etapa se difere quanto à etapa anterior. O sistema permaneceu instalado e em operação durante o horário de funcionamento da instituição, sendo desmontado ao fim deste e remontado no dia anterior.

Para fins comparativos, uma vez que não se era possível a obtenção, por outros meios, dos dados de vazões de drenagem e abastecimento reais, optou-se por utilizar volumes. Para a obtenção do volume de consumo real, considerou-se os dados obtidos por meio de um hidrômetro, instalado na tubulação a jusante da bomba responsável por encaminhar a água do reservatório monitorado para o reservatório superior de uma das unidades consumidoras da instituição.

Visando obter o volume consumido identificado pelo sistema, aplicou-se metodologia semelhante à da etapa 1, porém, com suas particularidades. Uma vez que em condições reais de funcionamento, o reservatório, em determinados momentos, é drenado e abastecido concomitantemente, não é possível calcular esse volume baseando-se apenas no ponto de início e fim do processo de transferência analisado (neste caso, drenagem). Portanto, para calcular esse volume, plotou-se o gráfico “cota x instante”, e com seu auxílio, foram identificados, além dos dados utilizados na etapa anterior, os pontos onde ocorrem mudanças de inclinação na curva.

Assim, com essas informações, é possível calcular a vazão média identificada nos primeiros instantes do processo de transferência, onde o reservatório está sendo apenas drenado (regime 1). Após determinado período de tempo, a curva muda de inclinação, entrando no estágio de drenagem e abastecimento simultâneos (regime 2). Identificando na curva o ponto onde se inicia a transição de crescente para decrescente, obtém-se o instante onde a bomba foi desativada, e a partir de onde o reservatório foi apenas abastecido (regime 3). Conhecendo o ponto de início do processo de transferência e o ponto de finalização do processo de drenagem, associando-os à vazão média de drenagem obtida, foi possível o cálculo do volume consumido identificado.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Tendo em vista o cenário de paralisação das atividades da instituição, o fluxo de pessoas por suas imediações foi bastante limitado, o que acabou se refletindo nos resultados obtidos de consumo d'água. Durante todos os dias monitorados, identificou-se variação no nível d'água do reservatório estudado apenas em dois dias, que corresponderam às segundas-feiras, com seus gráficos “cota x instante” explícitos por meio das Figuras 5 e 6.

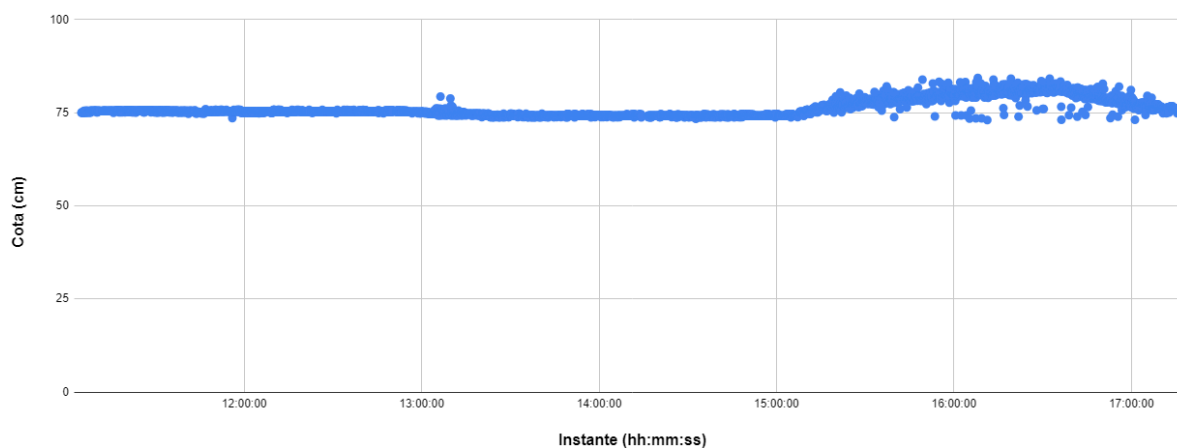


Figura 5: Gráfico “cota x instante” para o teste realizado dia 20/05/2024.

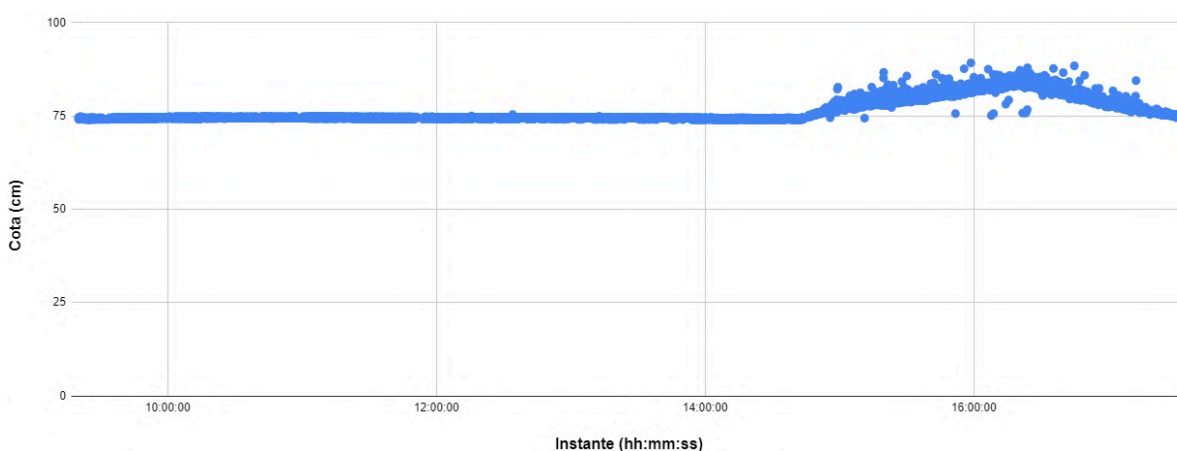


Figura 6: Gráfico “cota x instante” para o teste realizado dia 27/05/2024.

Utilizando-se dos métodos citados anteriormente, e dos dados obtidos por meio dos gráficos acima, calculou-se as vazões médias de drenagem para cada um dos dias (Tabela 4).

Tabela 4: Comparativo de dados de simulação de abastecimento.

Regime 1 - Apenas drenagem						
Teste	Dia / Data	Cota Inicial (cm)	Cota Final (cm)	Intervalo de tempo (s)	Área superficial (m ²)	Vazão média identificada (l/s)
1	Segunda - 20/06	74,72	76,04	406	23,40	0,7608
2	Segunda - 27/06	74,69	76,52	559	23,40	0,7660



Devido a complicações durante a coleta de informações, as leituras obtidas do hidrômetro datam apenas do dia 27/06/2024, portanto para a análise comparativa dos dados de volume drenado, apenas este dia foi considerado.

Tabela 5: Comparativo de dados de simulação de drenagem.

Regime 1 e 2 - Todo o período de drenagem						
Teste	Fonte	Vazão média identificada (l/s)	Intervalo de tempo (s)	Volume drenado (m ³)	Erro (m ³)	Erro (%)
2	ESP	0,7660	5910	4,5271	0,23	4,89
	Hidrômetro	-	-	4,7600		

Com base nessas informações, observa-se que, o erro percentual entre o volume de consumo calculado com dados do sistema desenvolvido e o calculado com dados coletados de maneira convencional por meio do hidrômetro foi de aproximadamente 4,89%.

Destaca-se ainda que, as vazões médias de drenagem calculadas para os dois dias em que houve a movimentação de água no reservatório é praticamente a mesma, apresentando erro absoluto de 0,0052 l/s e erro percentual relativo de 0,0068%.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e apresentados, pode-se verificar que mesmo que haja pequenas perturbações na lâmina d'água durante os processos de drenagem e abastecimento dos reservatórios, é possível identificar o instante inicial e final do processo de transferência, com o auxílio do gráfico "cota x instante". Quanto aos valores calculados para vazão, com base nos dados obtidos através do protótipo, verifica-se que esses foram bem próximos daqueles obtidos por métodos convencionais, apresentando erro médio de 2,68%, para os testes realizados em modelo reduzido, e de 4,89% para aqueles realizados em sistemas reais.

Assim, o sistema desenvolvido pode se enquadrar como uma boa ferramenta para auxílio no monitoramento dos regimes de distribuição de água desses reservatórios, assim como de suas vazões de entrada e saída, viabilizando a realização de uma série de análises distintas, que façam uso dessas informações. Para futuros trabalhos, sugere-se que sejam realizados mais testes em reservatórios em escala real e em pleno funcionamento, para que a eficiência desse sistema seja, de fato, atestada em condições como essas. Além disso, sugere-se que seja automatizada nos resultados do sensor ultrassônico a função de estimativa de vazão usando a distância em relação à lâmina de água em diferentes regimes (drenagem e abastecimento).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BACURAU, R. M.; LEAL, G.; SOARES, S. A. F. Sistema Eletrônico para Controle do Nível de Água em Reservatórios. Em: ESCOLA REGIONAL DE COMPUTAÇÃO BAHIA, ALAGOAS E SERGIPE. Salvador: 2011. Disponível em: <http://www.acso.uneb.br/erbase2011/Anais/Anais/03_WITGCBASE/01_Iniciacao%20Cientifica/IC_07_82575_1.pdf>
2. BRUNO, F. et al. A Pressure Monitoring System for Water Distribution Networks Based on Arduino Microcontroller. Water, v. 13, n. 17, p. 2321, jan. 2021.
3. CHU, S. et al. Numerical approach for water distribution system model calibration through incorporation of multiple stochastic prior distributions. Science of The Total Environment, v. 708, p. 134565, 15 mar. 2020.



4. HELLER, L.; PÁDUA, V. L. DE. Abastecimento de água para consumo humano. [s.l.] Editora UFMG, 2006. v. 1
5. JÚNIOR, R. DE S. M.; MENEZES, V. O. DE; MENEZES, A. M. S. PROTÓTIPO AUTOMATIZADO PARA MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DO CONSUMO DE ÁGUA EM INSTALAÇÕES PREDIAIS. Anais da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) do IFS, v. 1, n. 1, p. 708–711, 2019.
6. KOSHOEVA, B. B. et al. Arduino-based automated system for determining water flow consumption in open flow. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 2142, n. 1, p. 012009, 1 dez. 2021.
7. MARTINAZZO, C. A. et al. ARDUINO: UMA TECNOLOGIA NO ENSINO DE FÍSICA. v. 38, 2014.
8. MARZALL, V. O. DE A. R.; NASCIMENTO, N. DE O. Determinação do perfil de consumo residencial de água potável apoiado em tecnologia de medição inteligente. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 20, n. 2023, 21 mar. 2023.
9. MELNIK, R. Universality of mathematical models in understanding nature, society, and man-made world, in: *Mathematical and Computational Modeling*, 2015, p. 1–16.
10. MELO, B. M. D.; HENRIQUE, F. G. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS EM SANEAMENTO UTILIZANDO ARDUINO. *Águas Subterrâneas*, 2018.
11. ORMSBEE, L. E.; LINGIREDDY, S. Calibrating hydraulic network models. *Journal AWWA*, v. 89, n. 2, p. 42–50, 1997.
12. RAMOS, M. C.; ANDRADE, V. S. Desenvolvimento, Construção e Calibração de Uma Central de Monitoramento de Consumo de Energia Elétrica e de Água Utilizando o Microcontrolador Arduino. *Anais dos Encontros Nacionais de Engenharia e Desenvolvimento Social - ISSN 2594-7060*, v. 12, n. 1, 1 dez. 2015.
13. RIGHETTO, A. Calibração de Modelo Hidráulico de Rede de Distribuição de Água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 3, p. 33–44, 2001.
14. SANTOS, C. R. B.; CAMARGOS, A. F. P. DE. Protótipo de um sistema eletrônico de medição de nível de reservatório de água residencial de baixo custo. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 8, n. 6, p. 14572–01e, 30 ago. 2022.
15. TORRES, J. D. et al. Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados. *Scientia Plena*, v. 11, n. 2, 10 fev. 2015.