MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO AUTOMÁTICO DE BAIXO CUSTO: DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO

Robert Queiroz Oliveira e Oliviera [1,]; Camilla Maria Torres Pinto[2]; Rochele Sheila Vasconcelos[3] & Manoel Camilo Moleiro Cabrera [4]*

RESUMO – Diante do contexto da escassez de dados hidrometeorológicos no Brasil, seja por questões econômicas, territoriais ou pela escassez de pessoal capacitado para o monitoramento, e considerando a dependência de conhecimento dos riscos para gestão eficaz de riscos de desastres, é necessário pensar e desenvolver alternativas para implantação de monitoramento alternativo, que possa suprir esse eixo essencial para um Sistema de Alerta Precoce, por exemplo. Visando contribuir com esta demanda, este trabalho apresenta o processo de desenvolvimento de um pluviômetro automático de baixo custo, utilizando a Plataforma Arduino e implementado com sensores de umidade e temperatura, além de um visor responsável pela exibição dos dados em tempo real. São consideradas três dimensões do processo construtivo: adequação e implementação da área de captação e estrutura do equipamento, instrumentação e calibração. O equipamento apresenta um alto potencial de replicação para comunidades, devido ao baixo custo de montagem, com materiais acessíveis, além de suportar a etapa de comunicação de riscos e alerta, sendo uma opção para as diretrizes do Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil – 2025 – 2035.

ABSTRACT– Given the context of hydrometeorological data scarcity in Brazil, whether due to economic or territorial factors, or the shortage of trained personnel for monitoring and considering that disaster risk management effectively depends on understanding these risks, it is necessary to conceive and develop alternative monitoring solutions. These alternatives can address an essential pillar of an Early Warning System, for instance. Aiming to contribute to this demand, this work presents the development process of a low-cost automatic rain gauge using the Arduino Platform, implemented with temperature and humidity sensors, as well as a display screen for real-time data visualization. Three dimensions of the construction process are considered: adaptation and implementation of the catchment area and equipment structure, instrumentation, and calibration. The equipment shows high replication potential for communities due to its low assembly cost and accessible materials. Furthermore, it supports the risk communication and warning stage, serving as a viable option aligned with the guidelines of the National Protection and Civil Defense Plan – 2025 – 2035.

Palavras-Chave – Pluviômetro automático. Monitoramento meteorológico. Arduino.

[1]) *Graduando em Engenharia Civil pela UESC, Ilhéus, Bahia. Email: rqoliveira.egc@uesc.br
[2]) Professora do Departamento de Engenharias e Computação - DEC/UESC, Ilhéus, Bahia. Email: cmtpinto@uesc.br
[3]) Professora do Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais - DCAA/UESC, Ilhéus, Bahia. Email: rsvasconcelos1@uesc.br
[4]) Professor do Departamento de Engenharias e Computação – DEC/UESC, Ilhéus, Bahia. Email: mcmcabrera@uesc.br

1. INTRODUÇÃO

A intensificação de eventos hidrometeorológicos extremos, associada às mudanças climáticas, tem ampliado a necessidade de sistemas de monitoramento capazes de fornecer informações confiáveis sobre a ocorrência e a distribuição das chuvas. A medição da precipitação constitui uma variável fundamental para estudos meteorológicos, planejamento urbano, agricultura, gestão de recursos hídricos e gestão de riscos e desastres, sendo indispensável para a compreensão da dinâmica climática e para a adoção de medidas preventivas frente a eventos adversos (Dervos e Baltas, 2024).

Entretanto, o Brasil ainda apresenta uma rede de monitoramento reduzida em relação à sua extensão territorial. Entre os principais desafios estão os custos de implantação de estações meteorológicas mais robustas e oficiais, a dimensão territorial do país, a estrutura mínima ou ausência de estrutura de órgãos responsáveis pelo monitoramento a nível municipal, como a Defesa Civil, fato que pode ser agravado pelo cenário demográfico, no qual 70% das cidades do país apresentam até 20.000 habitantes, o que historicamente interfere na capacidade orçamentária para investimento em infraestrutura tecnológica (IBGE, 2022).

Em muitas localidades, os elevados custos de aquisição, operação e manutenção de estações meteorológicas convencionais dificultam a ampliação da rede observacional. Esse cenário torna-se ainda mais preocupante diante da crescente demanda por dados climáticos para subsidiar Sistemas de Alerta Precoce, monitoramento ambiental e ações de proteção e defesa civil.

O Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil 2025-2035, em vigência, traz como um dos objetivos o aumento e implantação da rede de monitoramento e Sistemas de Alerta Precoce (SAP) (Brasil, 2025). Uma alternativa possível frente à escassez de dados e orçamento limitado é a implantação de pluviômetros de baixo custo, que podem ser automatizados e apresentam resultados promissores (RIBEIRO, 2020).

Estudos realizados por Silva et al. (2024) e Sanches et al. (2017) comprovam que a utilização de circuitos de prototipagem democratiza o monitoramento meteorológico, demonstrando a viabilidade de um protótipo com custo reduzido. Entretanto, nota-se que a disponibilização desses dados para fins acadêmicos e de monitoramento ainda é pouco explorada. Conforme salientam Bernardes et al. (2023), a principal barreira para a expansão das redes de acompanhamento está não apenas no custo de aquisição, mas na complexidade de manutenção e na escassez de sistemas de transmissão de dados confiáveis.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como proposta apresentar uma alternativa viável e de baixo custo para obtenção de dados meteorológicos, por meio da construção, instrumentação e calibração de um protótipo de pluviômetro, capaz de registrar, além de dados de precipitação, informações de umidade relativa do ar e temperatura.

2. METODOLOGIA

2.1 COMPONENTES ELETRÔNICOS E FUNCIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

O desenvolvimento do protótipo baseou-se na integração de componentes eletrônicos de baixo custo com a plataforma de prototipagem Arduino Uno R3, responsável pelo processamento das informações coletadas pelos sensores e pelo gerenciamento do sistema de aquisição de dados. A escolha dessa plataforma fundamentou-se em sua ampla utilização em aplicações acadêmicas, facilidade de programação, compatibilidade com diferentes módulos eletrônicos e reduzido custo de implementação.

A medição da precipitação foi realizada por meio de um mecanismo de báscula associado a um sensor de efeito Hall modelo 3144E. O sistema é composto por uma estrutura de captação em aço inoxidável, contendo um funil coletor responsável por direcionar a água da chuva para dois pequenos reservatórios de acrílico equilibrados sobre um eixo de rotação (Figura 1). À medida que a água é acumulada em um dos compartimentos, o conjunto perde o equilíbrio ao atingir o volume correspondente a uma precipitação calibrada, promovendo o basculamento do reservatório. Após o movimento, o compartimento oposto passa a receber a água coletada, reiniciando o ciclo e possibilitando a medição contínua da precipitação acumulada.



Figura 1 – Autoral 2026: Funil de coleta e mecanismo interno da báscula.

Cada oscilação da báscula é detectada pelo sensor de efeito Hall por meio das variações do campo magnético geradas por um ímã fixado à estrutura móvel, convertendo o movimento mecânico em pulsos eletrônicos contabilizados pelo microcontrolador. Dessa forma, cada pulso registrado corresponde a 0,25 mm de precipitação, valor adotado como resolução do equipamento. Paralelamente ao monitoramento pluviométrico, as variáveis meteorológicas de temperatura e umidade relativa do ar foram medidas por meio de um sensor DHT22, enquanto o registro temporal das informações foi realizado por um módulo de relógio em tempo real RTC DS1302, garantindo a associação de cada leitura à respectiva data e horário de ocorrência.

As informações provenientes dos sensores foram processadas e armazenadas em um módulo leitor de cartão micro SD, permitindo a criação de um banco de dados meteorológicos em formato digital. Adicionalmente, foi incorporado ao sistema um display LCD 1602 I2C para visualização instantânea das variáveis monitoradas em campo. Todos os componentes eletrônicos foram instalados em uma caixa estanque com grau de proteção IP68, de modo a garantir a integridade do sistema durante sua operação em ambientes externos.

2.2 DESENVOLVIMENTO DA LÓGICA COMPUTACIONAL E PROGRAMAÇÃO

O funcionamento do pluviômetro automático foi viabilizado por meio do desenvolvimento de um software embarcado na plataforma Arduino Uno. A programação foi realizada utilizando o ambiente Arduino IDE, uma plataforma de código aberto amplamente empregada em projetos de prototipagem eletrônica devido à sua flexibilidade, facilidade de utilização e compatibilidade com diversas bibliotecas de expansão (ARDUINO, 2025). O software foi desenvolvido em linguagem baseada em C++, permitindo a integração entre os sensores.

A lógica computacional foi estruturada para realizar a aquisição automática dos dados meteorológicos, registrando informações de precipitação, temperatura, umidade, data e horário das medições. O sistema opera continuamente por meio de ciclos de leitura predefinidos, nos quais os dados coletados são processados, armazenados no *datalogger* e disponibilizados em tempo real no display do equipamento. O fluxograma apresentado na Figura 2 ilustra de forma simplificada a sequência de operações executadas pelo software, desde a inicialização dos módulos até o armazenamento permanente das informações coletadas.

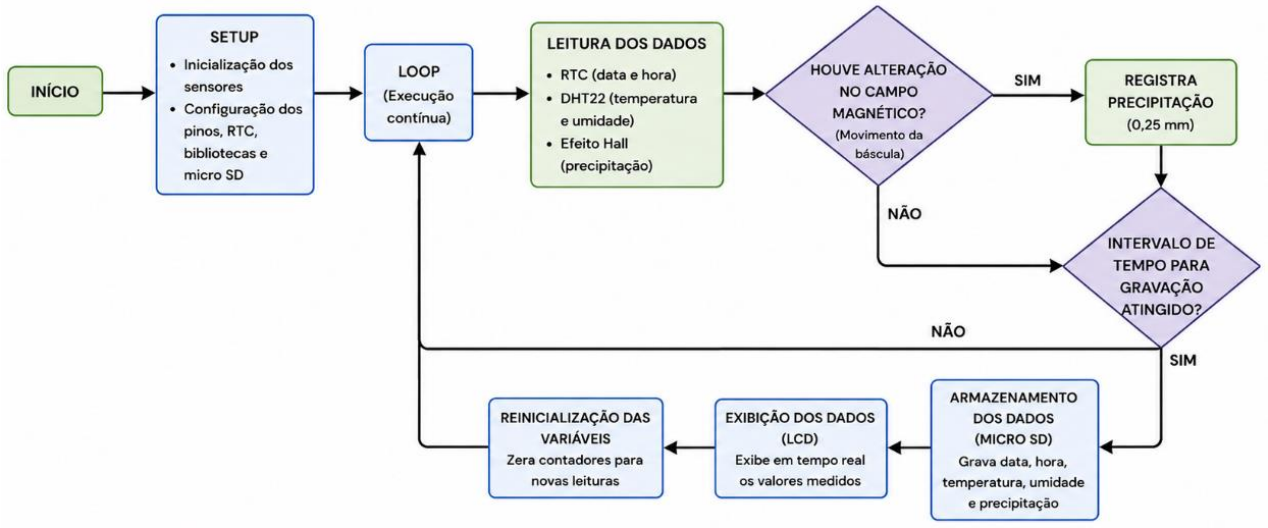


Figura 2 – Autoral 2026: Fluxograma simplificado da lógica de funcionamento do software do pluviômetro.

2.3 CALIBRAÇÃO E TESTE EM LABORATÓRIO

Após a montagem do protótipo, foi realizada a calibração do mecanismo de báscula com o objetivo de garantir que cada basculamento correspondesse a uma lâmina de precipitação de 0,25 mm. Inicialmente, determinou-se a área de captação do funil coletor por meio da medição de seu diâmetro interno, permitindo estabelecer a relação entre a superfície de captação e o volume de água necessário para acionar a báscula.

A área de captação foi calculada pela Equação 1 e o volume correspondente à lâmina de precipitação pela Equação 2.

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (1)$$

$$V = A \times H \quad (2)$$

A substituição da Equação 1 na Equação 2 resulta na Equação 3, utilizada para determinar o volume teórico de água correspondente a cada pulso registrado pelo equipamento.

$$V = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H \quad (3)$$

Com base no volume calculado, procedeu-se à calibração experimental da báscula utilizando uma seringa graduada para aplicação controlada de água. Os ajustes foram realizados por meio dos parafusos de regulagem do mecanismo, até que cada oscilação correspondesse ao volume teórico

previamente determinado. Esse procedimento permitiu adequar a resposta mecânica do sistema à resolução pluviométrica adotada, assegurando maior confiabilidade às medições realizadas pelo protótipo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MONTAGEM DO EQUIPAMENTO

A montagem do protótipo foi concluída com sucesso, resultando em um sistema funcional composto por todos os módulos eletrônicos e sensores previstos. O hardware foi desenvolvido a partir da integração da plataforma Arduino Uno com os sensores de temperatura e umidade, sensor de efeito Hall para monitoramento da precipitação, módulo RTC para registro temporal das medições, display LCD para visualização em tempo real e módulo leitor de cartão micro SD para armazenamento dos dados coletados.

As conexões entre os componentes foram realizadas por meio de protoboard e cabos jumper, utilizando os pinos de alimentação, aterramento e comunicação da placa Arduino. Após a montagem do circuito eletrônico, todos os componentes foram acondicionados em uma caixa estanque com grau de proteção IP68, garantindo proteção contra umidade, poeira e demais agentes ambientais, além de proporcionar maior segurança operacional durante a utilização em campo.

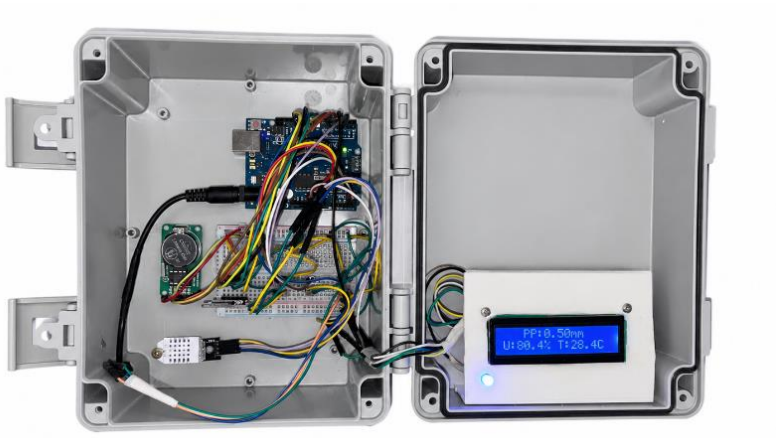


Figura 3 – Autoral 2026: Montagem final do hardware do pluviômetro automático.

Um dos principais objetivos do projeto consistiu no desenvolvimento de um equipamento meteorológico de baixo custo e fácil replicação. Para isso, todos os componentes foram adquiridos no mercado nacional, priorizando dispositivos amplamente disponíveis e compatíveis com

plataformas de prototipagem eletrônica. Os custos dos materiais utilizados na construção do protótipo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Custo dos componentes utilizados na construção do pluviômetro automático.

Item	Componente	Valor (R$)
1	Arduino Uno R3 + Cabo USB	65,90
2	Sensor DHT22	32,82
3	Sensor Hall 3144E	19,00
4	RTC DS1302	13,98
5	Display LCD 1602 I2C	29,99
6	Módulo Leitor Micro SD	19,00
7	Cartão Micro SD 16 GB	26,99
8	LEDs Difusos	19,99
9	Cabos Jumper	28,89
10	Protoboard 400 pontos	14,88
11	Fonte 9 V / 1 A	16,40
12	Caixa Estanque IP68	54,90
13	Cadeado	18,99
Total		361,73

O custo total de construção do equipamento foi de R$ 361,73. Esse valor é significativamente inferior ao observado em pluviômetros automáticos e estações meteorológicas comerciais, que frequentemente apresentam custos de aquisição da ordem de milhares de reais (Bernardes et al., 2023), especialmente quando incorporam sistemas de aquisição e armazenamento automático de dados. Dessa forma, o protótipo desenvolvido demonstra elevado potencial de replicabilidade em instituições de ensino, projetos de extensão, monitoramento ambiental comunitário e iniciativas voltadas à gestão de riscos e desastres, constituindo uma alternativa tecnicamente viável para ampliação das redes de monitoramento hidrometeorológico em regiões com restrições orçamentárias.

3.2 CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A calibração do mecanismo de báscula foi realizada com o objetivo de garantir que cada movimento do sistema correspondesse à precipitação de referência de 0,25 mm. Inicialmente, foi determinado o diâmetro interno do funil coletor por meio de três medições independentes, obtendo-se um valor médio de 20,5 ± 0,1 cm. Com base nesse resultado e utilizando as equações de área de captação e volume de precipitação apresentadas na metodologia, foi calculado o volume necessário para provocar um único basculamento, correspondente a aproximadamente 8,25 mL.

A calibração do mecanismo de báscula foi realizada com sucesso, permitindo adequar a resposta do sistema à resolução pluviométrica adotada para o equipamento. Após os ajustes necessários, foram conduzidos cinco ensaios independentes em cada lado da báscula, com o objetivo de verificar a repetibilidade do mecanismo e a correspondência entre o volume aplicado e a lâmina de precipitação de referência. Os resultados obtidos encontram-se apresentados nas Tabelas 2 e 3, permitindo avaliar o desempenho do sistema e a consistência das medições realizadas.

Tabela 2 –Dados obtidos no ensaio de calibração da báscula do lado direito.

Ensaio	Volume coletado (mL)	Altura de Lâmina (mm)
1	8,40	0,25 ± 0,01
2	8,20	0,25 ± 0,01
3	8,20	0,25 ± 0,01
4	8,60	0,26 ± 0,01
5	8,20	0,25 ± 0,01

Tabela 3 –Dados obtidos no ensaio de calibração da báscula do lado esquerdo.

Ensaio	Volume Coletado (mL)	Altura de Lâmina (mm)
1	8,40	0,25 ± 0,01
2	8,00	0,24 ± 0,01
3	7,80	0,24 ± 0,01
4	7,80	0,24 ± 0,01
5	8,20	0,25 ± 0,01

Os resultados demonstraram comportamento consistente entre os dois compartimentos da báscula, com pequenas variações em torno da lâmina de referência de 0,25 mm. O erro relativo máximo observado foi de 5,47%, valor considerado satisfatório para um equipamento meteorológico de baixo custo e compatível com a resolução adotada para o sistema. De modo geral, os ensaios indicaram boa repetibilidade e estabilidade operacional do mecanismo, confirmando a adequação da metodologia de calibração empregada e a capacidade do sensor de efeito Hall em registrar corretamente os eventos de basculamento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade técnica da solução desenvolvida. A montagem do hardware foi realizada integrando os sensores de temperatura e umidade, sensor de efeito Hall, módulo RTC, módulo leitor de cartão micro SD e display LCD em um único sistema funcional. O custo total dos componentes utilizados foi de aproximadamente R$ 361,73, valor significativamente inferior ao de estações meteorológicas comerciais e pluviômetros automáticos

convencionais encontrados no mercado, evidenciando o potencial da plataforma para aplicações de baixo custo.

A etapa de calibração permitiu ajustar adequadamente o mecanismo de báscula, adotando resolução de 0,25 mm por pulso, compatível com padrões amplamente utilizados em pluviômetros automáticos. Os ensaios laboratoriais demonstraram que o equipamento apresentou precisão satisfatória na detecção dos eventos de precipitação, com erros compatíveis com a finalidade proposta para o projeto. Além disso, os testes de funcionamento confirmaram a correta integração entre os componentes eletrônicos, o software embarcado e o sistema de armazenamento de dados.

Em síntese, os resultados indicam que a metodologia adotada para construção, calibração e validação do protótipo foi adequada ao atendimento dos objetivos propostos nesta pesquisa. Assim, conclui-se que o pluviômetro desenvolvido constitui uma alternativa viável para o monitoramento meteorológico de baixo custo, apresentando potencial para utilização em instituições de ensino, projetos de pesquisa, atividades de extensão e redes locais de monitoramento climático, sobretudo em comunidades vulneráveis, fortalecendo a cultura de prevenção e a gestão de riscos e desastres.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), pelo incentivo e fomento à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. *Arduino IDE: integrated development environment for Arduino boards*. [S. l.]: Arduino, 2025. Disponível em: https://www.arduino.cc/en/software. Acesso em: 03 abr 2025.

BERNARDES, Gabriel F. L. R. et al. *Prototyping low-cost automatic weather stations for natural disaster monitoring*. Elsevier. Digital Communications and Networks, v. 9, n. 4, 2023.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. *Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil: PN-PDC 2025-2035*. Versão 4. Brasília: MIDR/SEDEC, 2025.

DERVOS, Nikolaos A.; BALTAS, Evangelos A. *Development of Experimental Low-Cost Rain Gauges and their Evaluation During a High Intensity Storm Event*. Environmental Processes , v. 11, n. 1, p. 6, 2024.

IBGE. IBGE Cidades: Plataforma de Pesquisas e Estatísticas dos Municípios Brasileiros. Rio de Janeiro: IBGE, 2026. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/. Acesso em: 7 jun. 2026.

RIBEIRO, Brenda Fernandes. *Plataforma de prototipagem arduino aplicada ao desenvolvimento de pluviômetro automático com armazenamento local e conexão GSM/GPRS*. UFERSA, 2020.

SANCHES, Rafael Grecco et al. *Proposta de pluviômetro de baixo custo utilizando a plataforma de prototipagem Arduino*. Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento, v. 1, p. 2024-2035, 2017.

SILVA, Wenderson R. F.; MENDES, Karoline G.; FERREIRA, Ricardo dos Santos. *Desenvolvimento de uma estação meteorológica a partir de materiais reutilizados e sensores de baixo custo*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 46, p. e20230337, 2024.