



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Automação em Pluviômetro Tipo Bâscula com Resposta em Tempo Real, para Monitoramento Geotécnico em Encostas

Gilmar Gonçalves de Brito¹; Roberto Quental Coutinho²; João Paulo da Silva Vasconcelos³; Gabriel Vanderlei de Oliveira⁴; Pedro Gomes dos Santos Pereira⁵

¹Instituto Federal De Educação, Ciências E Tecnologia De Pernambuco-ifpe, Endereço: Avenida Professor Luiz Freire, 500, Curado, gilmarbrito@reitoria.ifpe.edu.br; ²Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. Av. Acadêmico Hélio Ramos S/N, Cidade Universitária, 50740530 - Recife, PE – Brasil. Tel: (81) 21267526. robertoqcourtinho@gmail.com; ³Instituto Federal De Educação, Ciências E Tecnologia De Pernambuco-ifpe, Endereço: Avenida Professor Luiz Freire, 500, Curado, jpsv@discente.ifpe.edu.br; ⁴Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. Av. Acadêmico Hélio Ramos S/N, Cidade Universitária, 50740530 - Recife, PE – Brasil, gabrielvanderlei11@gmail.com; ⁵Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. Av. Acadêmico Hélio Ramos S/N, Cidade Universitária, 50740530 - Recife, PE – Brasil, pgomes.eng@gmail.com.

Artigo recebido em 16/10/2014 e aceito em 02/12/2025

RESUMO

Os pluviômetros são dispositivos essenciais para a medição da quantidade de chuva, sendo fundamentais na prevenção de desastres naturais, especialmente em regiões suscetíveis a deslizamentos de terra. O monitoramento pluviométrico em tempo real permite a correlação entre a intensidade das chuvas e a estabilidade do solo, contribuindo para tomadas de decisões mais eficientes em situações de risco. Este trabalho tem como objetivo aprimorar um pluviômetro do tipo balsa, tornando-o automatizado e integrado a um sistema de monitoramento geotécnico. Para isso, foram realizadas modificações eletromecânicas em um modelo PL-01, desenvolvido um sistema de interface digital utilizando o software de código aberto ThingsBoard e implantados módulos de prototipação embarcados com microcontrolador ESP32 e comunicação GSM/GPRS. A solução permite o processamento e armazenamento de dados em nuvem, com acesso remoto via computadores e dispositivos móveis. Os resultados demonstraram que o sistema automatizado é capaz de registrar e analisar os níveis de chuva instantânea e acumulada em diferentes intervalos de tempo (1h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h e 240h). Com base nos dados coletados e nos limites preestabelecidos, alertas de risco (baixo, moderado e alto) são emitidos, e mensagens SMS são enviadas a usuários cadastrados, permitindo a adoção de medidas preventivas. Dessa forma, o sistema se mostra uma ferramenta eficaz para monitoramento de áreas suscetíveis a deslizamentos, integrando-se ao contexto da Indústria 4.0 e aprimorando a prevenção de desastres naturais.

Palavras-Chave: Deslizamento de terra. Sensoriamento. Estabilidade de encostas. Tecnologia.

Automation of a Tipping-Bucket Rain Gauge with Real-Time Response for Geotechnical Monitoring on Slopes

ABSTRACT:

Rain gauges are essential devices for measuring the amount of rainfall and are fundamental in preventing natural disasters, especially in regions susceptible to landslides. Real-time pluviometric monitoring allows for the correlation between rainfall intensity and soil stability, contributing to more efficient decision-making in risk situations. This study aims to improve a tipping-bucket rain gauge, making it automated and integrated into a geotechnical monitoring system.

To achieve this, electromechanical modifications were made to a PL-01 model, a digital interface system was developed using the open-source software ThingsBoard, and embedded prototyping modules with an ESP32 microcontroller and GSM/GPRS communication were implemented. The solution enables data processing and storage in the cloud, with remote access via computers and mobile devices. The results demonstrated that the automated system is capable of recording and analyzing instant and accumulated rainfall levels over different time intervals (1h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h, and 240h). Based on the collected data and predefined thresholds, risk alerts (low, moderate, and high) are issued, and SMS messages are sent to registered users, allowing the adoption of preventive measures. Thus, the system proves to be an effective tool for monitoring areas susceptible to landslides, integrating into the Industry 4.0 context and enhancing natural disaster prevention.

Keywords: Landslide. Sensing. Slope stability. Technology.

Introdução

Os eventos climáticos extremos têm se tornado uma preocupação crescente em diversas regiões do mundo, especialmente em zonas urbanas onde a ocupação do solo ocorre de maneira acelerada e, muitas vezes, sem o devido planejamento. Em função das diversas características climáticas, geográficas, geológicas e de ocupação das encostas sem o devido conhecimento técnico, a chuva, elemento fundamental para a vida humana no nosso planeta Terra, torna-se um agente de potencial destruição. Ela é responsável por incentivar o crescimento de plantações, pela dinâmica de rios e mares, sendo essencial para a alimentação de todos os seres vivos, além de abastecer os lençóis freáticos e biomas que mantêm a vida ativa no nosso planeta (Medeiros, 2020; Damasceno et. Al, 2021; Brito, 2023). Todavia, as chuvas podem causar destruição devido às cheias de rios, além disso o crescimento antropológico desenfreado e de construções irregulares em encostas resultantes do são agentes contribuintes neste processo (Macedo, 2015; Gusmão Filho, 2015).

Estes episódios são considerados de desastres naturais. Conforme descrito no Decreto nº10.593, de 2020, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - Sinpdec, o artigo 2º, inciso VII define desastre como: “resultado de evento adverso decorrente de ação natural ou antrópica sobre cenário vulnerável que cause danos humanos, materiais e ou ambientais assim como prejuízos econômicos e sociais” (Brasil, 2020). No Brasil, os eventos de deslizamentos em encostas estão frequentemente associados às chuvas, afirmam diversos pesquisadores (Damasceno et al., 2021; SGB-CPRM 2023+; Brito 2023;).

Considerando essa preocupação crescente com os impactos das chuvas em zonas urbanas, especialmente em regiões com características geotécnicas e geomorfológicas semelhantes, há uma necessidade premente de desenvolver sistemas de monitoramento e alerta eficientes para prevenir desastres relacionados a chuvas intensas e deslizamentos de encostas. Este artigo tem como objetivo a elaboração de um sistema que integre tecnologias contemporâneas, como a automação de pluviômetros por meio de sistemas embarcados e módulos de prototipação, aliada à implementação de protocolos de comunicação eficazes, permitindo a coleta remota e o processamento em tempo real de dados pluviométricos. Além disso, a utilização de tecnologias como IoT, Edge Computing e Cloud Computing no âmbito da Indústria 4.0 pode proporcionar uma gestão mais eficiente dos dados, permitindo a tomada de decisões ágeis para mitigar os riscos associados a eventos climáticos extremos por meio de um software que reúna todas essas informações. Dessa forma, a pesquisa visa explorar e validar a viabilidade dessas abordagens tecnológicas na prevenção e gestão de desastres causados por chuvas intensas e deslizamentos de encostas em zonas urbanas brasileiras.

Monitoramento pluviométrico

Os limiares críticos de chuva representam valores de precipitação a partir dos quais há maior probabilidade de ocorrência de deslizamentos de terra e outros desastres relacionados. Esses limites são determinados com base em estudos históricos e modelagens que consideram fatores como intensidade e duração da chuva, além das características geotécnicas e geomorfológicas do terreno. A compreensão dos limiares de precipitação de chuvas é fundamental para

identificar as possibilidades de ocorrências de deslizamentos, servindo como uma ferramenta crucial no auxílio à gestão de risco e de desastres. Mantas et al. (2015) e Burboa et al. (2020) destacam projetos e programas elaborados para melhorar e aprimorar o sistema de medição de chuvas com o intuito de melhorar a qualidade do monitoramento e conseqüentemente tentar minimizar a ocorrência deslizamentos de terra. Para se compreender os limiares críticos se faz necessário medir a chuvas, ou o índice pluviométrico. Desde os anos 70 é realizado este tipo de estudo, como por exemplo nos trabalhos de Lumb (1975), Turner e Nielsen (1975) e Guidicini e Iwasa (1977).

Segundo Stelio (2022), existem muitas aplicações de alerta de deslizamentos de encostas com base em medição das chuvas em tempo real, Damasceno et. Al (2021) e Brito, (2023) acrescentam que o processo de monitorização e de alerta com antecedência de várias horas em encostas, constituem uma das formas mais promissoras de prevenir e reduzir os desastres, e os critérios de emissão de alertas podem ser definidos com base na medição da intensidade de precipitação das chuvas horária e a chuva acumulada durante um período tempo. Um exemplo é o software desenvolvido por Segoni et al. (2014) que tem como objetivo automatizar a identificação de limites de intensidade e duração de chuvas que causam deslizamentos de terra, permitindo o processamento eficiente de grandes conjuntos de dados e a validação de limiares com dados passados.

O método mais amplamente empregado para medir a quantidade de chuva é o pluviômetro, que apresenta uma escala graduada em milímetros. Esse instrumento baseia-se na avaliação da água precipitada sobre uma área de um metro quadrado. O índice pluviométrico é calculado através de uma coluna de água (chuva) que se acumula numa superfície de 1m^2 . Em outras palavras, a medição de um litro de água (1 mm de chuva) equivale a uma lâmina de água com um milímetro de altura numa caixa de dimensões 1 m x 1 m x 1 m, resultando num volume de 1m^3 .

O pluviômetro é um dispositivo composto por uma série de mecanismos projetados para coletar e medir com precisão a quantidade de água

da chuva, possibilitando a quantificação exata do volume. Assim, as informações produzidas pelo pluviômetro têm sido ferramentas importantes no auxílio tanto da engenharia Geotécnica quanto da engenharia Agrônômica, fornecendo informações essenciais para a tomada de decisões sobre construção, estabilidade de taludes, prevenção de riscos geotécnicos, e práticas agrícolas adequadas (Tavares et al., 2021). Assim, ao compreender a funcionalidade e o conceito do equipamento, torna-se evidente que, quando automatizado, o pluviômetro possibilita a mensuração precisa da chuva em curtos intervalos de tempo. Isso viabiliza a classificação da precipitação de acordo com sua intensidade ao longo do período, permitindo uma análise mais detalhada e dinâmica da sua variação temporal. Para a instalação de um sistema de pluviômetro, é crucial observar as normas e precauções recomendadas, abrangendo desde a seleção do equipamento até a escolha do local e a forma adequada de instalação, além do procedimento para obtenção e classificação dos dados. Informações detalhadas sobre esses aspectos podem ser encontradas no site do Cemaden. Para o processo de calibração também deve se seguir as orientações de acordo com o método de calibração do pluviômetro do tipo báscula. Comunello (2022), Dimaghi Schwambach (2020) e Nascimento et. Al; (2020) comentam sobre os processos calibração de um pluviômetro automático, demonstrando grau de importância da calibração e aferição do pluviômetro automatizado.

No mesmo contexto de classificação das chuvas, a categorização desempenha um papel crucial na compreensão dos impactos causados por esses eventos meteorológicos. Essa classificação é fundamental no planejamento de ações preventivas contra desastres naturais, como enchentes e instabilidades de encostas e taludes. Portanto Reichardt (1986) acrescenta que as chuvas podem ser classificadas como: a) chuva fraca, é caracterizada por pequenas gotas de chuva espaçadas, sem causar grande impacto e geralmente é bem tolerada pelo solo, sendo absorvida sem causar escoamento significativo; b) chuva média: consiste em gotas maiores e mais frequentes, podendo resultar em acúmulo de água em áreas de menor inclinação, mas geralmente são gerenciáveis, sem muitos danos; c) chuva forte, caracterizada por gotas grandes e contínuas, podendo ocorrer em pancadas intensas. Essa

intensidade de chuva pode levar a enchentes, inundações, instabilidades de encostas e taludes, assim como erosões e no caso agrícola a destruição de plantas (Pinto et. al., 2022). Ainda, a National Meteorological Library and Archive realiza uma classificação da chuva com relação a sua intensidade (índice pluviométricos). Nesta classificação, a chuva fraca corresponde a intensidade menor ou igual a 5 milímetros, chuva moderada entre 5 milímetros e 25 milímetros, chuva forte entre 25 milímetros e 50 milímetros e chuva muito forte maior ou igual a 50 milímetros. Entretanto, há outros padrões de chuvas e classificações, conforme proposto por Horner e Jens (1941) sendo: a) avançada, quando a maior intensidade da chuva ocorre no início, nos primeiros 33% do tempo total da chuva; b) intermediário, quando a maior intensidade da chuva ocorre entre o intervalo de 33% a 66% do período total da chuva; e c) atrasada, quando a maior intensidade da chuva ocorre nos últimos 33% do tempo total da chuva.

É de consenso que cada região no mundo tem seu próprio regime de chuvas e seu climograma, construindo suas séries históricas das medições diárias a partir dos pluviômetros que são importantes ferramentas para o controle dos recursos hídricos, em termos de abastecimento de água para a população assim como para referências às incidências e o impacto de desastres como inundações e deslizamentos de encostas decorrentes de chuvas intensas. Portanto, entender que determinado tipo de chuva e sua intensidade são identificadas como limiares de precipitação de chuvas, estes limiares, que são fundamentais para identificar as possibilidades de ocorrências de deslizamentos e encostas em geral, servindo como uma ferramenta crucial no auxílio à gestão de risco e de desastres (do Nascimento (2022); Bigarella e Mazuchowski (1985); Riffel et al. (2016); Bandeira e Coutinho (2015)).

Estudos em zonas urbanas brasileiras geralmente apresentam curvas de limiares de precipitação de chuvas que correlacionam a precipitação diária (PD) e a precipitação acumulada (AC). A maior parte destes estudos relacionam as chuvas instantânea com a chuvas acumulada de 24h até 72h. Segundo Silva et al. (2022), regiões com características geotécnicas e

geomorfológicas semelhantes tendem apresentar comportamento de dados semelhantes às curvas.

Contexto Tecnológico

No contexto das tecnologias contemporâneas de sistemas embarcados e módulos de prototipação, encontramos sistemas de computação compactos e autônomos que são incorporados em diversos dispositivos os quais chamamos de módulos. Para a automatização de pluviômetros se faz dessas tecnologias, utilizando-se de microprocessadores e microcontroladores embarcados em módulos como: Arduino, ESP32 e Raspberry Pi dentre outros (Trindade, 2023). Os pluviômetros, que funcionam como sensores de chuva, detectam não só a presença desta, mas também fornecem dados adicionais, como: tempo de início e fim desta chuva, assim como a suas variações no tempo (Brito et al; 2023). Para Martins, (2023), os sistemas de prototipação se dão por meio de desenvolver uma representação que simule um processo ou parte deste a fim de validar o sistema de forma representativa, assim como fazer a interação do modelo como na realidade deverá se apresentar.

Para a prototipação de sistema que envolva a necessidade um microcontrolador, normalmente são usados os arduinos ou seus derivados como as ESP32, Raspberry, Orange dentre outras. Quanto ao sensor de pluviometria quando conectado a um módulo de microcontrolador (ESP32), com este sistema (microcontrolador) torna-se possível fazer a aquisição do sinal deste pluviômetro e realizar o pré-processamento destas informações em tempo real, dos dados relativos, as chuvas precipitadas e suas variações (Garbossa et al, 2020). Porém, para o processo de transmissão destes dados ou informações para processamento, seja em nuvens ou em local físico, se utiliza outro tipo de módulo de prototipação, para este caso o módulo indicado deve conter a) o sistema GSM/GPRS, (Global System for Mobile Communications / General Packet Radio Service, em português, Serviços Gerais de Pacotes por Rádio); b) sistema de WiFi (Wireless Fidelity); c) sistema de bluetooth (Tecnologia de conexão sem fio de curto alcance); d) sistema de comunicação LoRa (Long Range, no português Tecnologia de conexão sem fio de longo alcance). Além disso, podem ser usada outras tecnologias modulares de comunicação, facilitando

o processo de prototipação, porém estes módulos normalmente estão embarcados em um módulo microcontrolado. Estes podem ser Arduino ESP32 ou outro a depender do tipo de sistema, sendo que para cada tipo de aplicação existem um microprocessador ou micro controlador específico que melhor se adequa (Pellegrina, 2019; Brito et al, 2023).

De acordo com Santos et al. (2022), a eficiência e a abrangência de um sistema de comunicação de dados lógicos dependem significativamente da implementação de protocolos de comunicação adequados. Nesse sentido, torna-se indispensável utilizar protocolos como: a) MQTT (Message Queuing Telemetry Transport); b) HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Esses protocolos simplificam a transmissão de dados provenientes de pluviômetros para servidores ou plataformas de monitoramento, como o ThingsBoard (Brito, 2023). Os dados coletados são então enviados por meio de redes de comunicação para serem armazenados em bancos de dados, podendo ser SQL (Structured Query Language) ou NoSQL (Not Only SQL). Isso possibilita análises futuras, conforme destacado por Yamakoshi (2023).

A lógica de programação deste sistema depende dos dados coletados, sendo que os alertas são disparados quando as intensidades das chuvas ultrapassam determinados limites, associado a uma determinada quantidade de chuvas acumulada e de dados relativos às características geotécnicas, no qual se plota uma ou mais curvas limítrofe. A integração do pluviômetro com o sistema da indústria 4.0, o que induz ao sistema IoT (Internet Of Thing), possibilita a integração com o gerenciamento eficaz dos dados, fornecendo visualizações em tempo real e facilitando análises subsequentes. Tais abordagens e tecnologias permitem a automatização eficiente dos pluviômetros, promovendo a coleta remota de dados e permitindo tomadas de decisão baseadas nas informações obtidas, alinhando-se aos conceitos da Indústria 4.0 (Mariana e Clotilde, 2023; Martins et.al, 2023)

A indústria 4.0 é realidade em sistemas que buscam na tecnologia a modernização de processos e operações diárias. Desta forma, recursos como IoT, M2M, Edge e Cloud Computing são parte

integrantes do escopo desse conceito de indústria, utilizando-se de tecnologias avançadas para automação e troca de dados (Hernaéz et al, 2023). No trabalho de Sun et al. (2022) pode ser vista uma revisão completa das inovações, oportunidades e desafios do uso de tecnologias na área de ciências da terra. Para Mutyalaiiah et, al. (2023) A tecnologia IoT permite a criação de uma rede de conexão entre os dispositivos (sensores) cruciais para as operações do sistema, possibilitando o monitoramento remoto, o envio de dados e, em alguns casos, a automação de processos.

Para Acosta e Aulestia (2023) o Edge Computing é um sistema aplicado na agilidade das tomadas de decisões. Entende-se que processamento de dados brutos pode ser uma atividade custosa e demorada, principalmente para tomar decisões em um curto intervalo de tempo. Portanto Edge Computing, ou Computação de Borda, é uma tecnologia que permite que esse processamento se dê na fonte, ou seja, diretamente no dispositivo que foi implementado para o monitoramento do ativo. Dessa forma, é possível realizar operações e decisões praticamente em tempo real (Arthurs et al, 2022). Já o Cloud Computing está ligado a disponibilidade de dados e de Softwares para o monitoramento, o que pode ser custoso e apresentar limitações quanto à velocidade ou disponibilidade de acesso, principalmente pois podem possuir alta demanda de análise e monitoramento de informações em tempo real. A Computação em Nuvem (Cloud Computing) permite o processamento, armazenamento e análise de dados em uma plataforma online. Tornando o acesso disponível para todos que possuem autorização e conexão à internet (Arthurs et al., 2022; Mutyalaiiah et al., 2023).

Material e Métodos

Esta etapa tem como objetivo explicitar o procedimento adotado para o desenvolvimento do sistema de automação do pluviômetro, para esta etapa utilizou se de: a) um pluviômetro; b) um módulo sensor de efeito *Hall* e c) um módulo microcontrolador ESP32 com GSM-GPRS. Este sistema foi elaborado e instituído em três encostas (Alto da Brasileira, zona norte; Alto da Esperança, zona norte, e; UR12, zona sul) da Região

Metropolitana do Recife (RMR), com colaboração da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE), no laboratório do Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies (GEGEP) e com o apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, com o laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológicos e de Sistemas, denominado de PardaLab. Essa parceria possibilitou a criação de um sistema integrado, capaz de fornecer informações pluviométricas precisas e em tempo real para o monitoramento e prevenção de desastres relacionados a chuvas intensas e deslizamentos de encostas nessas regiões.

1 - Componentes do sistema

1.1 - Sistema de energia elétrica:

No tocante ao sistema elétrico, partindo do princípio que o sistema precisa de autonomia com relação ao fornecimento de energia elétrica, optou-se por uma fonte de energia alternativa, um sistema de placa solar de 60 W, compreendendo um módulo controlador de tensão, uma bateria estacionária VRLA de 12 V x 7 Ah, e um regulador de tensão *Step-down* ajustável para 3,3 V, satisfazendo assim as necessidades energéticas do projeto. A incorporação de placas solares em sistemas de geração de energia apresenta diversas vantagens significativas, tanto em termos de autonomia quanto de impacto positivo no meio ambiente.

No que diz respeito à autonomia, as placas solares conferem independência em relação à rede elétrica convencional, permitindo que o equipamento produza sua própria eletricidade. Essa autossuficiência energética não apenas reduz a dependência de fontes externas, mas também oferece a possibilidade de se tornar totalmente autônomo em termos de geração de energia. Além disso, a sustentabilidade ambiental é um dos aspectos mais importantes da energia solar. Sendo uma fonte renovável e inesgotável, a energia solar não contribui para a depleção de recursos finitos.

1.2 - Pluviômetro:

O pluviômetro escolhido para este projeto é um equipamento profissional do tipo balsa, modelo PL-1, com abrigo meteorológico e sensor

de umidade e temperatura do ar do tipo DHT22, já vem calibrado. Na Figura 1, temos a demonstração do pluviômetro do tipo balsa modelo PL-1. O pluviômetro com o corpo e base fabricados em alumínio; revestido com pintura epóxi branca de alta qualidade; parafusos inox; balsa já ajustada e com suporte para mastro redondo 32 mm. Os pluviômetros do tipo balsa oferecem uma combinação de precisão, resistência e versatilidade, tornando-os uma escolha interessante para a medição de precipitação.

Figura 1 - Pluviômetro balsa modelo PL-1 utilizado no equipamento.



Fonte: O autor (2023)

Características técnicas:

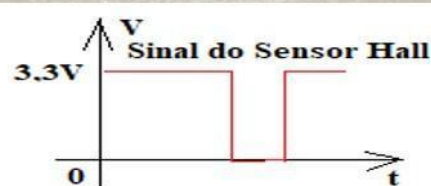
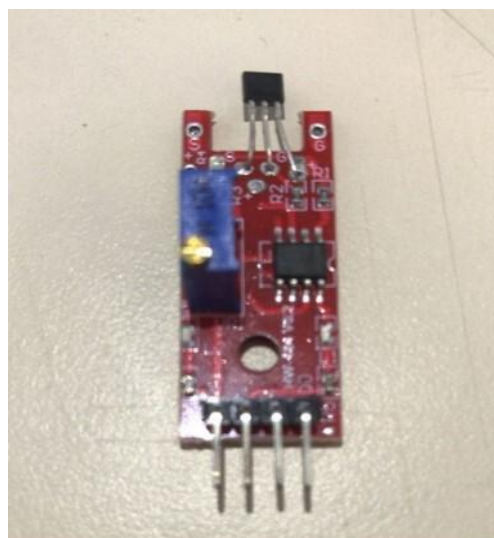
Pluviômetro com o corpo e base fabricados em alumínio; revestido com pintura epóxi branca de alta qualidade; parafusos inox; balsa já ajustada e com suporte para mastro redondo 32 mm. As características técnicas do pluviômetro podem ser descritas como: Tamanho A x D: 345 mm x 150 mm; Área de coleta: 165 cm²; Leitura de Pulso magnético (pluviômetro) com resolução de: 0,25 mm (4 pulsos para 1 mm), 0,1° C Temperatura 1% Umidade relativa.

Saída de água automática e auto esvaziamento. Erro máximo do equipamento (Pluviômetro): 4% (até 30 mm/h); 5% (até 50 mm/h); 7% (até 90 mm/h); Sensor de temperatura - umidade: 1 °C - 1%; Cabo manga de 4 vias + malha, com tela de proteção em inox, e Peso: 600 g; Nível bolha externo para nivelamento.

1.3 - Sensor de feito Hall KY-024:

O pluviômetro adquirido é do tipo báscula modelo PL-1, ele usa uma chave magnética do tipo *reed switch* que é acionada pela passagem de um campo magnético fixado entre as gândulas, normalmente um ímã. Porém, após análise de desempenho foi concluído que seria necessário utilizar outro tipo de chave, que oferecesse maior rapidez e confiança nas informações prestadas. Portanto foi decidido substituir o *reed switch* por um sensor de efeito Hall. Para esta solução foi adquirido o módulo KY-024, baseado em suas características como: aplicabilidade, tempo de resposta, tensão elétrica de operação (5 V), precisão e velocidade da resposta. A Figura 2, ilustra o módulo Hall KY-024, com abaixo a representação gráfica do sinal produzido (+VCC na saída).

Figura 2 – Placa de sensor de feito Hall KY-024.



Fonte: O autor (2023)

Para o uso sensor deste sensor a um sistema de microcontrolador, é recomendável o uso do resistor *Pull-down* ou *pull-up* a depender do tipo de alimentação elétrica da resposta do sensor se nível alto ou nível baixo. Alguns módulos de microcontrolador (ESP32) possuem este resistor disponível internamente, necessitando apenas de comando para ser ativado, cuja função é de suprimir a presença de sinal flutuante, sem o qual pode elevar o potencial de interferências na leitura do módulo aquisitor do sinal, podendo produzir ruídos, ou seja, falsos positivos.

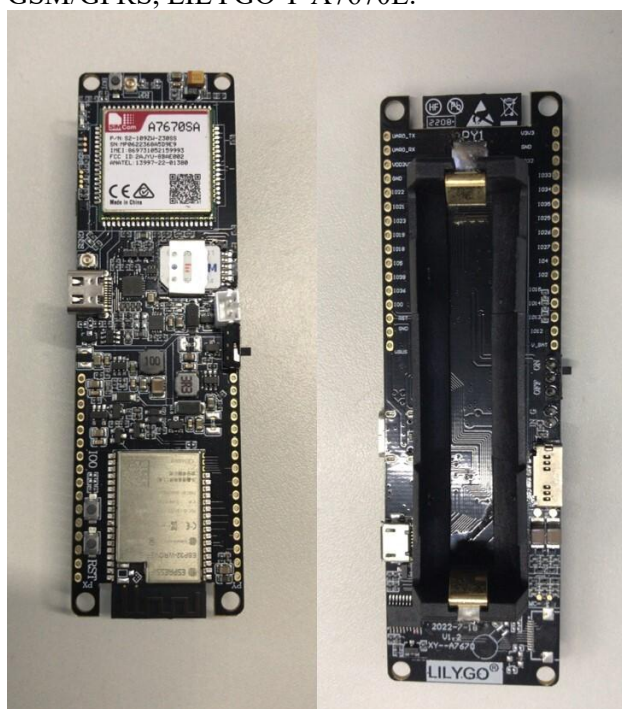
Características técnicas do sensor Hall modelo KY-024 podem ser descritas como: A3144; Controlador: LM393; Tensão de operação: 5 VDC; Tensão de alimentação, VCC 28 V; Tensão reversa da bateria, VRCC -35 V; Densidade de Fluxo Magnético, B – Ilimitado; Tensão de saída desligada, VOUT 28 V; tensão de saída reversa, VOUT -0,5 V; Corrente de saída contínua, IOU 25 mA; Faixa de temperatura operacional, TA = +25° C; Sufixo 'E-' -40° C a +85° C; Sufixo 'L-' -40° C a +150° C; Amplitude Térmica de

armazenamento; TS -65°C a $+170^{\circ}\text{C}$; - Dimensões: 15 mm x 12 mm x 44 mm.

1.4 - Módulo processamento ESP32 com GSM/GPRS, Lilygo T-A7670E

Para o pré-processamento dos sinais e o envio dos dados para a nuvem, assim como para o processamento e armazenamento das informações, foi utilizado um único módulo de prototipação. Neste caso optou-se por utilizar o módulo o ESP32 contendo o módulo GSM/GPRS (embarcado). O módulo com estas características está apresentado na Figura 3, na qual aparece o detalhamento de seus pinouts.

Figura 3 - Módulo ESP32 com GSM/GPRS, LILYGO T-A7670E.



Fonte: O autor (2023)

Características técnicas do modelo: T-A7670E

O módulo LILYGO T-A7670E apresenta as principais características e detalhes técnicos como: microcontrolador: ESP32; Módulo: ESP32-WROVER-B, SIM7000G; Interface: USB, cartão SD, interface de entrada para painel solar; Memória Flash: 4M *Flash* / 8M PSRAM Botões: Reset, interruptor de alimentação; USB para TTL:

CP2104; Tamanho do cartão SIM: Nano SIM Card; temperatura operacional: -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$; Tensão de trabalho +5 v; Corrente de trabalho 200 mA; Corrente em modo sleep 15 mA com antena GPS, e sem a antena 750 uA; Corrente de carregamento: 780 mA; Modelo para bateria de 18650 mA; Conector JST: 2 pinos 2 mm; USB: TIPO-C 3.0. Para mais detalhes técnicos pode-se consultar datasheet do módulo.

Contudo, ao examinar o sinal gerado pela interação do módulo *Hall* KY-024 com o Módulo T-A7670E, notou-se a presença de ruídos, como evidenciado no osciloscópio na Figura 04. Durante o encaminhamento do sinal do sensor de efeito *Hall* para o módulo de aquisição T-A7670E, destinado ao devido pré-processamento e subsequente envio para processamento em nuvem, surgiram interferências que introduziram ruídos, resultando em informações distorcidas (falsas). Esses ruídos podem ser observados no osciloscópio, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Sinal gerado pela interação do módulo Hall KY-024 com o Módulo T-A7670E no osciloscópio.

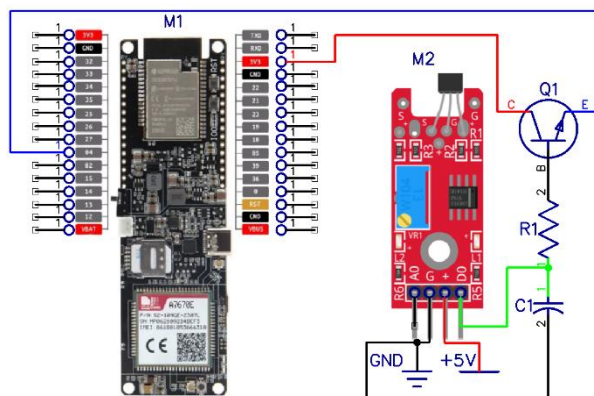


Fonte: O autor (2023).

Além de identificar a presença de ruídos, observou-se que o módulo T-A7670E e, de modo geral, as ESP32 operam com uma tensão de 3,3 V, enquanto o módulo do sensor de efeito *Hall* requer uma tensão de 5 V. Diante dessa disparidade, optou-se por implementar um circuito de acionamento (drive) utilizando um transistor NPN de pequeno sinal, conforme ilustrado na Figura 5, como solução para adequar as diferentes exigências de tensão.

Figura 5 - Circuito de acionamento com transistor NPN para adequação de tensões entre o

módulo Hall KY-024 (5V) e o módulo T-A7670E/ESP32 (3,3V).



Fonte: O autor (2023).

Além deste arranjo técnico em função da necessidade do projeto, ainda foi acrescentado no circuito, como precaução, um capacitor de 10 µF por 16 V, entre o sinal de saída do sensor (3,3 V) e o GND, e outro capacitor de 470 µF por 16 V entre +VCC (5 V) da fonte e o GND.

O procedimento de medição da chuva é organizado da seguinte maneira: a) implementação do mecanismo de medição (Sensor de Pluviometria); b) coleta de dados realizada por um microcontrolador; c) transmissão dos dados para as nuvens através de um módulo GSM/GPRS; d) registro dos dados efetuado em um servidor com o suporte de um banco de dados; e) visualização dos dados por meio de um Aplicativo Web. O módulo T-A7670E, utilizado como unidade de processamento, constitui um hardware capaz de receber, pré-processar e enviar os sinais provenientes do pluviômetro (sensor Hall) para o processamento em nuvens. Esse módulo pode ser programado por meio da plataforma do Arduino IDE, assim como em outras plataformas associadas às linguagens de programação JavaScript e Python.

2 - Funcionamento da balsa com o sensor Hall

O pluviômetro opera de maneira coordenada, seguindo os seguintes passos: a) a chuva precipita sobre o pluviômetro; b) um dos lados da gândula enche-se de água; c) a gândula cheia desloca-se para um lado, esvaziando-se e posicionando a outra gândula para ser preenchida. Este processo pode ser visualizado em três estágios, cada um representado nas fotos da Figura 06. À esquerda, a representação da balsa no

ponto de enchimento (identificado pelos três LEDs acesos no módulo do sensor Hall), indicando que o nível de tensão de saída é um (1); no centro, o sensor é ativado pela presença do campo magnético, resultando na extinção dos dois LEDs, alterando o nível de tensão de saída para zero (0); à direita, a balsa encontra-se no lado oposto, indicando que a balsa da esquerda já esvaziou a água, enquanto a da direita está posicionada para ser preenchida, com os três LEDs acesos, indicando um nível de tensão de repouso igual a um (1). As mudanças de estágio no nível lógico, de um (1) para zero (0), bem como o acendimento dos LEDs, são ilustradas na Figura 6.

Figura 6 - Funcionamento das balsas com o sensor de efeito Hall.



Fonte: O autor (2023).

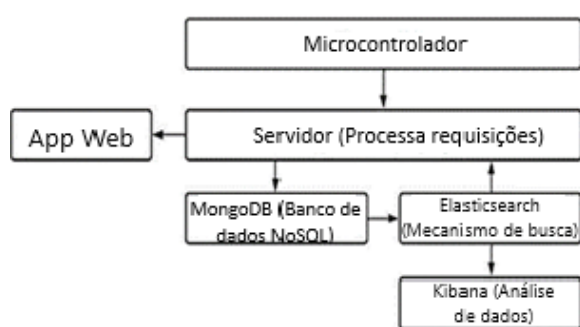
Ao deslocar-se, aciona um mecanismo com um ímã, e esse ímã, ao passar pelo sensor Hall, gera um sinal elétrico, um impulso elétrico, alterando o estágio do sinal de nível lógico alto (1) para nível lógico baixo (0). Esse sinal (impulso) é então enviado ao módulo de aquisição (ESP32/GSM/GPRS). Dessa maneira, o microcontrolador registra 0,25 mm de precipitação para cada impulso elétrico, contando e processando esses impulsos para transformá-los em informações sobre a quantidade de chuva (mm). Essas informações são compiladas em um pacote e enviadas para o servidor de aplicação Web. O servidor processa esses dados, os associa a outras informações e determina as características do evento, permitindo a visualização dos dados em um formato de Dashboard com gráficos pertinentes, alarmes e a evolução temporal. Dessa forma, o ciclo se repete enquanto houver chuva. Os dados são armazenados e ficam disponíveis mediante solicitação, formando assim os registros históricos.

3 - Transmissão e tratamento dos dados:

Os sinais são transmitidos via HTTP e recebidos por um servidor externo, sendo este um

servidor próprio e um servidor *Web ThingsBoard Cloud*. Portanto, o fluxo funciona de forma que o pluviômetro envia a informação para o microcontrolador, esta informação é enviada para um servidor (máquina virtual) e em paralelo também é enviada para o *ThingsBoard Cloud*. Portanto ao enviar estas informações elas são armazenadas em um banco de dados no servidor *Web MongoDB* e enviadas também para o serviço *Web* do *Elasticsearch* com a função de otimização e facilitação as buscas. A visualização ocorre através do servidor *Web Kibana* para análises de dados a nível de pesquisa, conforme demonstrado no fluxo da Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma de funcionamento do sistema de visualização



Fonte: O autor (2023).

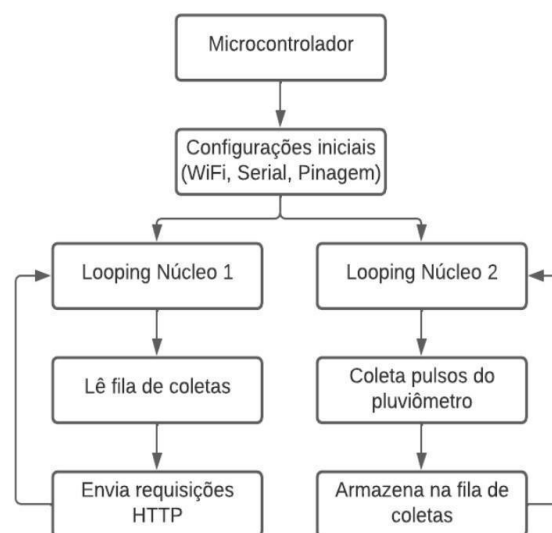
As informações são formatadas e disponibilizadas de maneira amigável ao usuário pela Aplicativo Web desenvolvido. Nele o usuário pode acompanhar a progressão da precipitação da chuva conforme o modelo estatístico desenvolvido por Bandeira e Coutinho, (2015). Este modelo avalia o risco de deslizamento com base no acumulado de chuva horário e nos registros dos últimos dez dias. Seguindo esse conceito, o sistema passa pelo seguinte fluxo: 1) Aplicação *Web* (interface do usuário); 2) controle do usuário; 3) seleção do pluviômetro por localização; e 4) visualização das chuvas e análise de risco de deslizamento. Dados também são enviados para o *ThingsBoard Cloud* para monitoramento da condição do *hardware*, permitindo verificar se o sistema está *offline* ou *online* devido a quedas de energia, disfunção do sistema como problemas de *internet*, desativação do chip GSM/GPRS ou outros eventos adversos. O processo, nesse caso, inclui: a) microcontrolador; b) sistema GSM/GPRS

c) *ThingsBoard Cloud*; d) API (*Application Programming Interface*), usado no processamento de requisições; e e) *ThingsBoard Cloud* e *Dashboards* (painéis de monitoramento).

O código interpreta dados do sensor de pluviometria através de um pulso recebido nos pinos de entrada/saída do módulo T-A7670E. Esses dados são transmitidos para os sistemas conectados ao pluviômetro via requisição *HTTP*, e com suporte também para o protocolo *MQTT*. Optou-se prioritariamente pelo *HTTP* devido às limitações da rede local, tendo mostrado maior eficácia na comunicação com os servidores. O fluxo se desenha da seguinte forma: a) microcontrolador (coleta dados de pluviometria); b) *HTTP* (dados de contagem); c) *WiFi* (conectado na rede local ou GSM/GPRS); e d) Internet (servidor/*ThingsBoard*).

Para otimizar os resultados, os dados passam por filtros para redução de ruídos. O processador do ESP32, dotado de dois núcleos de operação (*Dual Core*), permite que eles operem em paralelo. O núcleo 01 lida com uma fila, garantindo a leitura contínua de dados, enquanto o núcleo 02 gerencia o envio ininterrupto de dados via *HTTP*. Este procedimento é ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma da lógica de funcionamento do sistema:



Fonte: O autor (2023).

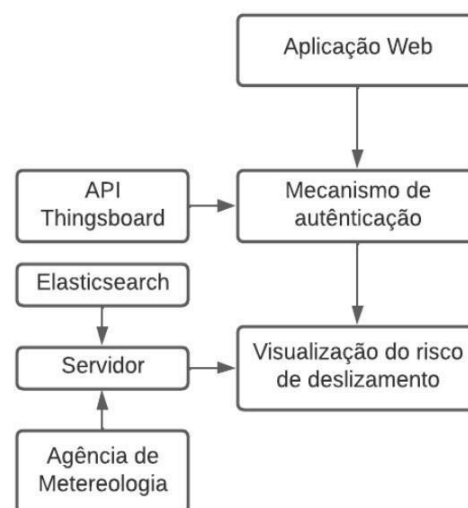
O núcleo de processamento 01 está integrado a um mecanismo temporizador de controle, semelhante ao *Watchdog* e assim nomeado no código devido ao uso similar. Este é

utilizado para validar se, caso ocorra algum problema no processo de captação e/ou envio de informações, o microcontrolador será reiniciado; este mecanismo é útil nas instabilidades de rede ou de problemas com a leitura do sensor. Assim, o fluxo se configura da seguinte maneira: a) *Looping* do núcleo 01; b) Utilização de um temporizador de controle (reinicia o microcontrolador, se necessário); c) Envio de requisição *HTTP*; e d) Alimentação do temporizador.

Ao enviar os dados para o servidor, estes são formatados para serem acessados no *Kibana* para análise dos dados a nível de desenvolvimento, no *ThingsBoard* para monitoramento do microcontrolador, e na aplicação *Web*. O *Kibana* é composto por um conjunto de mecanismos de visualização que permitem ao usuário modelar mostradores, criar gráficos diversos e verificar o fluxo de informações, sendo extremamente útil para análises do que está sendo recebido pelos sistemas conectados. O *ThingsBoard* oferece um conjunto de APIs (interface de programação de aplicações) integradas para o gerenciamento de equipamentos de *Internet das Coisas (IoT)*, armazenando dados coletados por sensores em tempo real e fornecendo mecanismos para *Dashboards* e *Widgets* que permitem a análise e visualização das informações recebidas, com possibilidades de customização.

A Aplicação *Web*, desenvolvida com o *framework React*, tem como objetivo permitir a utilização do sistema por usuários externos, por meio de um mecanismo de autenticação (cujo controle de usuários é feito através da API do *ThingsBoard*), e com a visualização elaborada a partir dos dados coletados. Além disso, o servidor consulta os dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). O fluxograma da Figura 9 detalha mais profundamente as funcionalidades do sistema:

Figura 9 - Fluxograma da funcionalidade do sistema:



Fonte: O autor (2023).

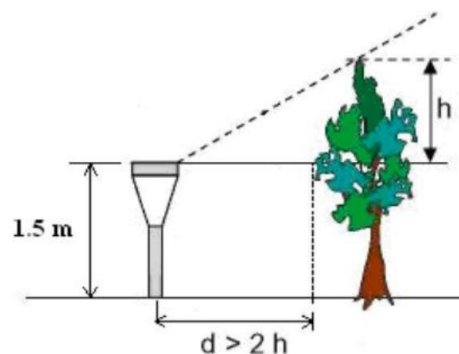
O sistema de visualização mostra o risco de deslizamento (baixo, médio e alto), determinado pelo modelo estatístico em uso como: Localizados (eminência de deslizamentos), Esparsos (vários registros de deslizamentos localizados) e generalizados (registro de diversos deslizamentos), com base na pluviometria, também permitindo ao usuário visualizar diferentes níveis de pluviometria na região selecionada, associados à chuva acumulada em 1h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h, 96h, 240h. finalizando estes capítulo enfatizando a evidência da presença do processo da indústria 4.0, neste projeto.

4 - Calibração do pluviômetro

O procedimento de calibração foi conduzido utilizando um sistema semelhante a uma pipeta graduada de 600ml, preenchida com água. Essa pipeta apresenta um orifício central em uma das extremidades e uma pequena tubulação com um diâmetro específico. O diâmetro desta tubulação está diretamente relacionado à constante de vazão, sendo que a vazão pode variar conforme o diâmetro da tubulação é alterado. Um diâmetro maior foi adotado para determinar a vazão máxima ou limite do pluviômetro, com um cano inserido no sistema de calibração (respiro) para a entrada de ar, controlando, assim, a vazão durante o processo de calibração.

A água proveniente desta pipeta flui diretamente para o pluviômetro, registrando a vazão que corresponde à pluviometria do sistema,

expressa em milímetros. Esse procedimento foi conduzido em ambiente laboratorial e repetido pelo menos seis vezes para cada equipamento desenvolvido. No campo, após a instalação, recomenda-se realizar o processo de medição pelo menos uma vez para assegurar o correto funcionamento do sistema, tanto presencialmente quanto por meio do sistema via software. Os resultados destes testes indicaram uma precisão de medição do pluviômetro de 0,25% e uma vazão máxima de medição de e mm.



Fonte: ANA (2011)

5 - Instalação

A instalação do pluviômetro deve ser executada em local em que o volume de água coletado represente de fato o volume da precipitação na região de abrangência do equipamento. Para tal, é necessária uma boa escolha do local da instalação, ou seja, com a menor incidência de vento possível e longe de obstáculos como muros, paredes, árvores, arbustos entre outros. De acordo com a ANA (2011) estes podem causar alterações nas leituras do instrumento. As regras básicas para a instalação dos pluviômetros são: a) eles devem ser instalados a no mínimo, 3m de distância dos obstáculos; b) ou a uma angulação de 30° a 45° com a horizontal, do topo do pluviômetro até o topo do obstáculo, c) a uma altura mínima de 1,5m do solo até a área de coleta (Blainski et al., 2012). A Figura 10 demonstra de forma gráfica a regra mínima a ser seguida ao instalar um pluviômetro com a finalidade de obter resultados confiáveis.

Figura 10 - Regra básica para instalação de um pluviômetro.

Desta forma, a instalação foi realizada dentro dos padrões previamente citados. Foi realizado um furo no solo com 50 cm de profundidade para chumbar com concreto uma haste no solo a ser monitorado para a sustentação do pluviômetro, a caixa de comando elétrico e a placa de energia solar. Esta haste tem 3m de comprimentos, sendo que 5 cm foi chumbado no solo, restando 2,5 m de altura para a fixação do equipamento. Com a instalação, o sistema ficou pronto para a realização das leituras e transmissão de dados para a nuvem. A Figura 11 mostra o equipamento instalado em campo.

Figura 11 – Equipamento de medição de chuvas instalado em Nova Descoberta – Recife.



Fonte: O autor (2023)

Resultados e Discussão

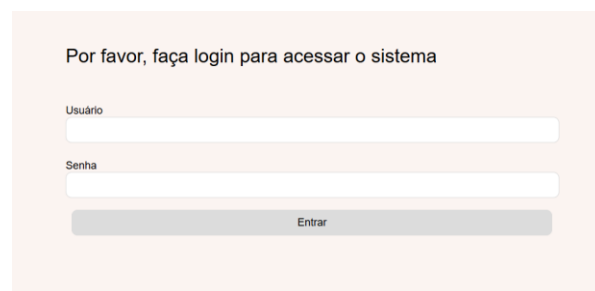
O diferencial deste trabalho não está relacionado somente ao processo de automação do inclinômetro com resposta em tempo real, mas

também a criar um sistema capaz de alertar os órgãos competentes, como a Defesa Civil, com tempo hábil sobre as possíveis probabilidades de ocorrência de deslizamentos, facilitando a tomada de decisões. Portanto o sistema realiza cálculos que relacionam as características geotécnicas específicas para cada região ou área da encosta a ser implantada o processo de monitoramento, contribui significativamente nos processos de mitigação. Essa abordagem está alinhada com estudos como o de MaCumBA (Segoni et al., 2014), que propõe a identificação de limiares de precipitação associados a deslizamentos, reforçando a importância da análise de dados pluviométricos para prevenção de desastres. Portanto, pode-se afirmar que o projeto em referência atingiu seu objetivo, visto que um sistema foi apresentado em um *Dashboard* intuitivo, demonstrando curvas que relacionam a chuva instantânea com as chuvas acumuladas. Para melhor adaptação e aplicabilidade em diversos modelos de análise, variações foram implementadas: 1h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h, 96h e 240h. O sistema foi testado no período chuvoso de 2023, onde as chuvas são frequentes e, portanto, existem muitas possibilidades de testes do sistema. Quando o vetor responsável pela indicação dos níveis de chuvas horários e dos últimos 10 dias atinge uma das curvas limítrofes, um alerta é acionado, informando imediatamente o usuário do sistema dos riscos que a região está sujeita. Essa metodologia de análise contínua de dados pluviométricos encontra paralelo em sistemas como o PluvioReader (Burboa et al., 2020), que também utiliza dados acumulados para avaliação de riscos.

Os arranjos eletromecânicos, concebidos de acordo com as especificações do projeto, demonstraram uma resposta positiva e eficiente, atendendo integralmente às demandas propostas. O pluviômetro, equipado com esses componentes, foi implantado com sucesso na área designada para monitoramento na Região Metropolitana do Recife, mais precisamente no Alto da Brasileira. A eficácia desses sistemas eletromecânicos é corroborada por implementações semelhantes baseadas em IoT para monitoramento de deslizamentos (Wang et al., 2022), que destacam a importância destes tipos de sensores e comunicação em tempo real.

Os *softwares* desenvolvidos para o processamento, armazenamento em nuvem e disponibilização das informações e dos dados históricos apresentaram resultados satisfatórios. A aplicação possui uma interface amigável, permitindo fácil acesso ao sistema, conforme pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - Interface de acesso ao aplicativo interativo.

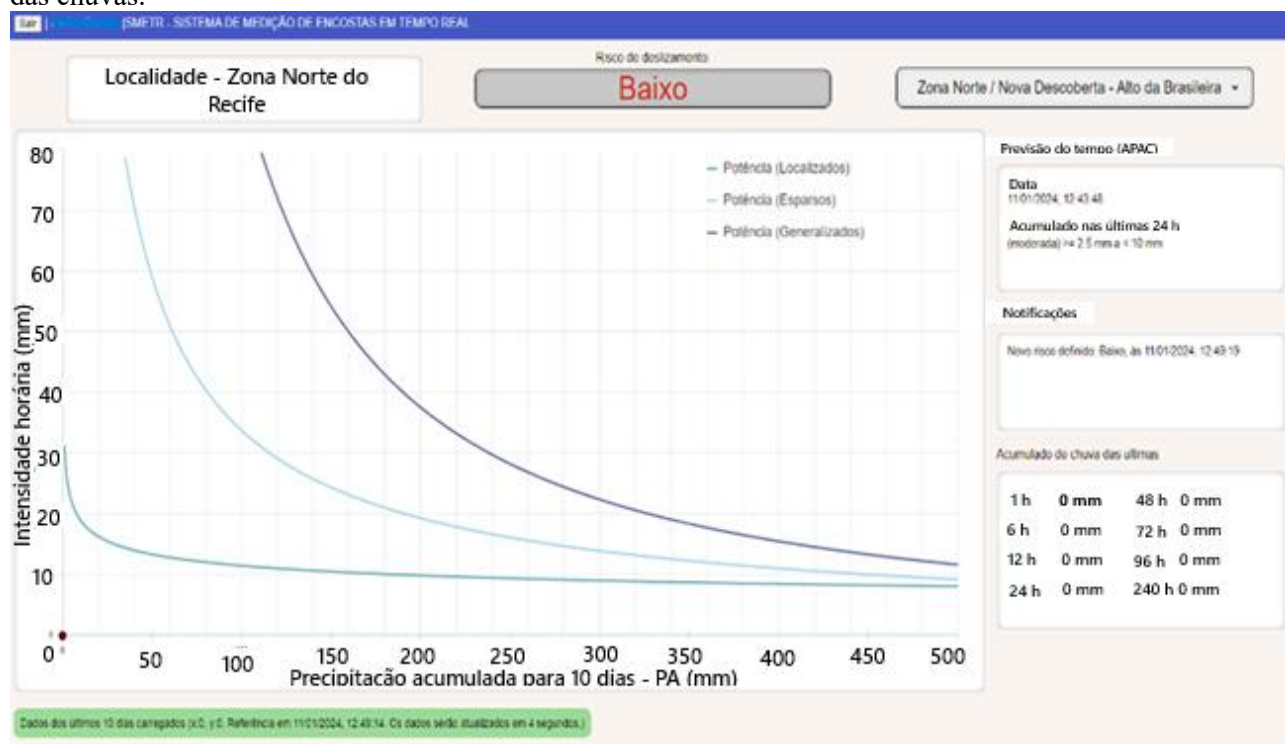


Fonte: O autor (2023).

O sistema do gráfico, demonstrado na Figura 12, é caracterizado por alertar o usuário em diversos níveis de alerta assim como estabelecido por Bandeira e Coutinho. (2015). Na aplicação, a depender da intensidade da chuva, o sistema poderá alertar para risco de desastre em diferentes níveis de alertas (baixo, moderado e alto risco). Além disso, a plataforma contém diversas informações relativas às leituras que estão sendo visualizadas como a zona e bairro da região monitorada; indicador da intensidade da chuva em diversos horários nos últimos 10 dias, a coordenada geográfica do equipamento, além de dados relativos à previsão da chuva nas próximas 24 horas segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

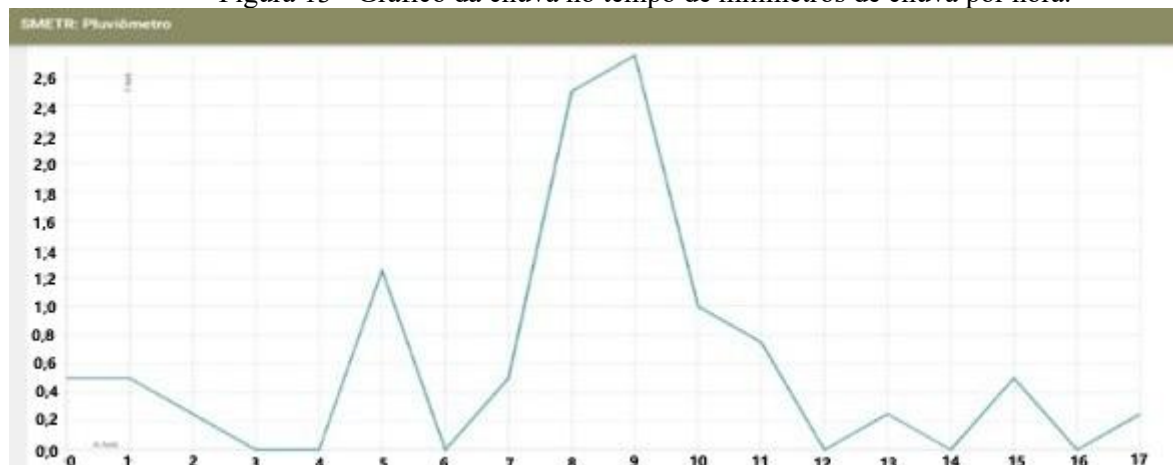
Na Figura 13, tem-se o gráfico da representação da chuva no tempo, onde é possível observar a evolução da chuva no tempo, desde seu início até seu término, dentro de critérios estabelecido por (Horner e Jens 1941), além da demonstração de sua classificação (avançada, intermediária e atrasada). Neste mesmo *Dashboard*, o sistema foi capaz de demonstrar a classificação da chuva quanto à intensidade e tipo, e a data de início e de término desta chuva.

Figura 12 – Interface do aplicativo interativo com gráfico da relação da intensidade e caracterização das chuvas.



Fonte: O autor (2023).

Figura 13 - Gráfico da chuva no tempo de milímetros de chuva por hora.



Fonte: O autor (2023).

Para melhor acompanhamento do funcionamento do equipamento, foi desenvolvida com a plataforma *ThingsBoard*, uma função que

apresenta dados sobre o estado do hardware, enviando periodicamente informações de seu estado de funcionamento. Essa abordagem visa

oferecer uma visão em tempo real e detalhada do status operacional do pluviômetro, permitindo uma rápida detecção de possíveis problemas e contribuindo para menores janelas de falha no monitoramento. Essa estratégia também é observada em sistemas de IoT (Wang et al., 2022),

que utilizam monitoramento contínuo para aumentar a confiabilidade dos dispositivos em campo.

CONCLUSÃO

O processo de automação ou o aprimoramento do pluviômetro, integrando dispositivos computacionais (*software* e *hardware*), e tecnologias de rede lógica GSM/GPRS assim com a tecnologia da indústria 4.0 e seus conceitos, promoveu resultados esperado, ou seja, o referido projeto cumpriu todas as expectativas, disponibilizando em telas de computadores e dispositivos móveis *smartphones* e *tablets* por meio de um aplicativo informações relevantes da área monitorada em tempo real, plotando gráficos e acompanhando os desempenho de cada momento da respectiva encosta monitorada. Foi disparado o primeiro nível de alerta (de baixo risco para moderado) de deslizamento no momento de chuvas intensas na RMR, quando tinha um acumulado de aproximadamente 191,5 mm em 10 dias e uma chuva intensa de 26 mm, a chuva atingiu (por pouco intervalo de tempo) a curva limítrofe de potencial localizado, na linha da primeira limítrofe de três (potencial localizado, potencial esparsa e potencial generalizado) principalmente no local monitorado. Após isso o programa se comportou de maneira estável, sem maiores problemas de funcionamento.

Desta forma, o sistema de automação desenvolvido destaca-se por ser confiável e eficaz, revelando-se apto para utilização no monitoramento de encostas, oferecendo alertas para possíveis deslizamentos, além de servir para diversas aplicações que demandam informações precisas sobre a precipitação de chuvas em tempo real e suas características. Adicionalmente, o sistema culminou na submissão de um pedido de patente e na obtenção de dois certificados de proteção de software.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos a todo que nos apoiaram e contribuíram no desenvolvimento deste projeto, principalmente as instituições como a Universidade Federal de Pernambuco-UFPE com o Grupo de Engenharia Geotécnica de Planície e Encostas-GEPEPE sob a coordenação do professor Roberto Quental Coutinho; ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Pernambuco-IFPE com o laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológicos e de Sistemas, denominado de PardaLab; e ao órgão fomento a Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco- FACEPE.

Referências

- Acosta, E. G. F., & Aulestia, D. O. G. (2023). Arquitectura Edge Computing utilizando Raspberry Pi para mejorar la velocidad de procesamiento de datos en un sistema domótico. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, Carrera de Tecnologías de la Información.
- Agência Nacional de Águas - Brasil. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. (2011). Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas. ANA.
- Arthurs, P., Gillam, L., Krause, P., Wang, N., Halder, K., & Mouzarkitis, A. (2022). A taxonomy and survey of edge cloud computing for intelligent transportation systems and connected vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3084396>
- Bandeira, A. P. N., & Coutinho, R. Q. (2015). Critical rainfall parameters: Proposed landslide warning system for the metropolitan region of Recife, PE, Brazil. *Soils and Rocks*, 38, 27–48. <https://doi.org/10.28927/SR.381027>
- Blainski, É., Garbossa, L. H. P., & Antunes, E. N. (2012). Estações hidrometeorológicas automáticas: Recomendações técnicas para instalação. Epagri.

- Brasil. (2012). Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres. Diário Oficial da União.
- Brasil. (2020). Decreto nº 10.593, de 2020. Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC, artigo 2º, VII. Diário Oficial da União.
- Brito, G. G., Oliveira Junior, M. N. de, & Coutinho, R. Q. (2023). Sistema automatizado para determinação de teor de umidade do solo por micro-ondas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(5), 2450–2463. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2450-463>
- Brito, G. G. D. (2023). Sistema de monitoramento em tempo real para aplicação geotécnica em encostas – SMTRAGE. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- Burboa, A., Vargas, J., & Meier, C. I. (2020). PluvioReader: A software for digitizing weekly siphoning-type pluviograph strip charts. *Computers & Geosciences*, 139, 104463. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2020.104463>
- Comunello, É., Fietz, C. R., & Flumignan, D. L. (2022). Estimativa das chuvas por pluviômetros manuais de baixo custo. EMBRAPA, COMUNICADO TÉCNICO 268. Dourados, MS. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1142066/1/COT-268-2022-PAO.pdf> (Acesso em 05 jan. 2022).
- Damasceno, A. D. O., Cardoso, A. D. O., & Escobar de Paiva, C. F. (2021). Investigação da relação chuva-deslizamentos no município de Mauá – SP para obtenção de limiares críticos deflagradores de deslizamentos. *Revista Ciências & Natura*, 43, e50. <https://doi.org/10.5902/2179460X43119>
- da Silva, C. G. T. (2022). Análise dos projetos para a redução dos riscos de desastres ambientais efetivados pelo governo federal entre 2011 e 2015 e daqueles que estão atualmente em atividade. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(2), 1775–1798. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n2-026>
- de Faria, J. S. R. (2023). Proposta de sistema de monitoramento de árvores utilizando sensores inerciais dentro do paradigma da Internet das Coisas. Data Management Plan, DMPHub. <https://doi.org/10.48321/D1F05W>
- Garbossa, L. H. P., Novaes, A. L. T., & Lapa, K. R. (2020). Automação de baixo custo como alternativa para monitoramento hidrológico. *Agropecuária Catarinense*, 33(3), 72–76. <https://doi.org/10.52945/rac.v33i3.795>
- Gusmão Filho, J. A. (1995). A experiência em encostas ocupadas do Recife: Integração técnica, institucional e comunitária. *Revista do Instituto Geológico*, volume especial, 9–49. http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/revista_ig/v16nspa02.pdf (Acesso em 3 mai 2018).
- Guidicini, G. E., & Iwasa, O. Y. (1977). Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment. *Bulletin of International Association of Engineering Geology (IAEG)*, 16, 13–20.
- Hernaéz, R. C. V., Arcos Vegas, J. L., & García González, C. (2023). Análise de la tecnología e innovación en empresas industriales de Mexicali como ruta para el uso de herramientas de la industria 4.0. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, Ibero Journal of Information Systems and Technologies-RISTI, E61, 1646–9895.
- Horner, W. W., & Jens, S. W. (1941). Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, 107, 1039–1117.
- Lumb, P. (1975). Slope failures in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 8, 31–35.
- Macedo, E. S., & Martins, P. P. D. (2015). Análise do banco de dados de mortes por deslizamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). In Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia Ambiental, 15, Bento Gonçalves. ABGE.
- Mantas, V. M., Liu, Z., & Pereira, A. J. S. C. (2015). A web service and android application for the distribution of rainfall estimates and Earth observation data. *Computers & Geosciences*, 77, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.01.011>
- Mariana, P., & Clotilde, P. (2023). A Indústria 4.0 como vantagem competitiva no setor

- automóvel. *Gestão e Desenvolvimento*, 31, 347–373.
<https://doi.org/10.34632/gestaoedesenvolvimen.to.2023.12763>
- Martins, T. M., Carneiro, R. N., & Mergulhão, R. C. (2023). O conceito da segurança da informação como estratégia organizacional no contexto da Indústria 4.0. *Revista Gestão e Secretariado*, 14(1), 1068–1082.
<https://doi.org/10.7769/gesec.v14i1.1571>
- Medeiros, S. A., Nóbrega, R. A., Diniz, R. R. S., & Barreto, A. B. (2020). A técnica do percentil na determinação de períodos secos e chuvosos na cidade de Patos-PB. *Anais CONIMAS – I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade*, 6(1), 51–58.
<https://doi.org/10.36229/978-65-86127-62-1.CAP.06>
- Melo, C. R. (2021). Utilização de informações espaciais de alta resolução para análise de susceptibilidade de deslizamento sob situação de precipitações intensas. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Disponível em: http://dspace.cprm.gov.br/bitstream/doc/22181/1/tese_cristiane_melo.pdf.
- Mutyalaiyah, P., Babu, S., Phasinam, K., Pallathadka, H., Zamani, A. S., Narayan, V., Shukl, S. K., & Mohammed, H. S. (2022). Toward development of machine learning framework for enhancing security in Internet of Things. *Security and Communication Networks*, 2023, Article 9854892.
<https://doi.org/10.1155/2023/9854892>
- Nascimento, D. A., Oliveira, M. F. de, Souza Filho, E. A. de, & Silva, J. S. da. (2020). Estudo da consistência dos dados de um pluviógrafo de báscula e um pluviômetro convencional na Amazônia Central. *Brazilian Journal of Development*, 6(2), 6060–6071.
<https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-055>
- Pellegrina, G. J. (2019). Banco de dados para gestão de riscos de movimentos em massa no município de Coimbra e análise da influência dos principais condicionantes atmosféricos. *Cadernos de Geografia*, 40, 1.
https://doi.org/10.14195/0871-1623_40_1
- Pinto, C. A. D., Silva Júnior, J. D. A., Cunha, A. C. D., Silva, J. F. B. R. D., D'Oliveira, F. A. F., Sousa, L. H., ... & Ataíde, W. L. D. S. (2022). Os índices de anomalia de chuva e sua relação com o El Niño oscilação sul na bacia hidrográfica do rio Tapajós. *Research, Society and Development*, 11(17), e169111738004.
<https://doi.org/10.33448/rsd-v11i17.38004>
- Santos, L. H., Silva, E. J. da, Santana, M. P. de, Lobato, E. P., & Fonceca, W. S. (2022). Utilização dos protocolos ESP-NOW e MQTT para monitoramento e interação com sistemas industriais. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE, Sociedade Brasileira de Automação (SBA), Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém*.
<https://doi.org/10.20906/sbse.v2i1.3156>
- Segoni, S., Rossi, G., Rosi, A., & Catani, F. (2014). Landslides triggered by rainfall: A semi-automated procedure to define consistent intensity–duration thresholds. *Computers & Geosciences*, 63, 123–131.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.009>
- Serviço Geológico do Brasil - CPRM. (2018). Plano estratégico CPRM/SGB 2019-2023.
- Silva, A. P. da, Barroso, E. V., & Polivanov, H. (2022). Índices pluviométricos críticos para prevenção de desastres por deslizamentos na cidade de Niterói-RJ. *Geologia, série Científica USP, Revista do Instituto de Geociências – USP*, 22(3), 47–60.
<https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v22-191653>
- Silva, C. G. T. (2022). Análise dos projetos para a redução dos riscos de desastres ambientais efetivados pelo governo federal entre 2011 e 2015 e daqueles que estão atualmente em atividade. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(2), 1775–1798.
<https://doi.org/10.34188/bjaerv5n2-026>
- Stelio, P. A. D. S., Rodrigues, H. J. B., & Souza Filho, J. D. D. C. (2022). Índice de anomalia de chuva (IAC) e sua relação com os desastres naturais no leste da Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(5), 2544–2572.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2544-2572>
- Sun, Z., Sandoval, L., Crystal-Ornelas, R., Mousavi, S. M., Wang, J., Lin, C., Cristea, N., Tong, D., Carande, W. H., Ma, X., Rao, Y., Bednar, J. A., Tan, A., Wang, J., Purushotham, S., Gill, T. E., Chastang, J., Howard, D., Holt,

- B., Angodagamage, C., Zhao, P., Rivas, P., Chester, Z., Orduz, J., & John, A. (2022). A review of Earth Artificial Intelligence. *Computers & Geosciences*, 159, 105034. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2022.105034>
- Tavares, C. M. G., Carvalho, P. M., Oliveira, T. A., Sanches, F., & Ferreira, C. C. M. (2021). O uso do índice de anomalia de chuva (IAC) em Juiz de Fora, Minas Gerais. *Revista Equador*, 10(1). <https://doi.org/10.26694/equador.v10i01.12207>
- Trindade, K. A. A., Sousa, I. F. de, Brandão, C. R. P., & Costa, J. S. F. (2023). Estimativa dos usos finais de água do Instituto Federal de Sergipe através de sensores de fluxo e da plataforma Arduino – Campus Lagarto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(5), 2677–2689. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2677-2689>
- Wang, C., Guo, W., Yang, K., Wang, X., & Meng, Q. (2022). Real-Time Monitoring System of Landslide Based on LoRa Architecture. *Frontiers in Earth Science*, 10, 899509. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.899509>