



Monitoramento Automatizado do Nível de Rios Utilizando Sensores de Ultrassom: Estudo de Caso no Rio Carimã, Barreiros-PE e Implicações para o Rio Grande do Sul

Barbosa, José V. P.¹; Cavalcante Júnior, José T. M.²; **Cavalcante de Melo, Davi J.³**; Leite, Tonny C. C.⁴; Morais, Bruno A.⁵; Sena, Amanda R.⁶; Silva, Gilson B.⁷; Silva, Izaqueu R.⁸; Silva, João P. A.⁹; Silva Júnior, José A. L.¹⁰.

¹ *Instituto Federal de Pernambuco- Campus Barreiros.*

Palavras-Chave: Sensores de ultrassom, Monitoramento automatizado, Gestão de desastres 3.5

Introdução

A cidade de Barreiros, localizada na Mata Sul de Pernambuco, é frequentemente impactada por inundações durante períodos de chuvas intensas, como evidenciado pelas enchentes dos anos 2000, 2010, 2017 e mais recentemente em 2022. Esses eventos causam grandes prejuízos materiais e colocam vidas em risco, destacando a necessidade urgente de sistemas eficientes de monitoramento e alerta. O rio Carimã, que atravessa a área urbana e comercial de Barreiros, carece de uma estação de monitoramento, tornando a resposta às inundações lenta e muitas vezes inadequada. A dependência de relatos dos moradores para a obtenção de dados sobre o nível do rio resulta em uma preparação insuficiente e na emissão de alertas tardios. Eventos semelhantes ocorrem em outras partes do Brasil, como o estado do Rio Grande do Sul, que também sofre com inundações severas. Por exemplo, em setembro de 2023, uma série de enchentes catastróficas atingiu várias cidades do estado, resultando em perdas significativas de vidas e destruição de infraestrutura. Esse desastre ressaltou a importância de sistemas de monitoramento e alerta eficazes para prevenir e mitigar os danos causados por chuvas intensas. A falta de infraestrutura adequada para monitoramento contínuo e em tempo real das condições dos rios contribuiu para a gravidade do evento, reforçando a necessidade de soluções tecnológicas avançadas. Estudos sobre o uso de tecnologias para monitoramento ambiental mostram que a automação da coleta de dados é crucial para a gestão eficaz de desastres naturais. A Internet das Coisas (IoT) e plataformas acessíveis como o Arduino têm se mostrado ferramentas valiosas para a implementação de soluções de monitoramento de baixo custo e alta eficiência. O uso de sensores de ultrassom, integrados à plataforma Arduino, permite a medição precisa e em tempo real da variação do nível da água em cursos d'água. A relevância deste trabalho reside na possibilidade de fornecer dados contínuos e precisos, permitindo a tomada de decisões informadas e rápidas, reduzindo os danos materiais e humanos associados às inundações.

Métodos

Os objetivos deste projeto são:

- (1) desenvolver e implementar um sistema de monitoramento automatizado utilizando sensores de ultrassom para medir o nível do rio Carimã em tempo real;
- (2) transmitir esses dados para uma central de controle via Wi-Fi, GSM ou cabos;
- (3) disponibilizar as informações coletadas através de um aplicativo Android de fácil utilização, que apresentará as probabilidades de enchente utilizando um código de cores (verde para baixa probabilidade, amarelo para média probabilidade e vermelho para alta probabilidade);
- (4) integrar outros tipos de sensores, como pluviômetros e sensores de umidade, para uma abordagem mais abrangente na gestão de desastres naturais.

A justificativa para a implementação deste sistema é múltipla. Primeiro, a plataforma Arduino oferece uma solução econômica e acessível, permitindo a replicação em larga escala e a personalização conforme necessário. As plataformas Arduino utilizadas foram adquiridas na loja Multilógica (Rua Sete de Setembro, 223, Boa Vista, Recife - PE) especializada em componentes eletrônicos, enquanto os sensores de ultrassom foram comprados na loja online ABC. Segundo, a automação da coleta de dados elimina a necessidade de intervenção humana contínua, reduzindo erros e aumentando a eficiência na obtenção de informações cruciais. A escolha do sensor de ultrassom HC-SR04 se justifica pela precisão e custo-benefício em projetos de automação e monitoramento ambiental, conforme descrito por *Oliveira et al.* (2022). A plataforma Arduino foi selecionada por sua versatilidade e baixo custo, permitindo sua replicação em sistemas de monitoramento, conforme discutido por *Silva et al.* (2021). Terceiro, a disponibilização dos dados em tempo real através de um aplicativo promove a transparência e o acesso à informação, capacitando a população e os técnicos da Defesa Civil a agirem de forma mais rápida e informada. Finalmente, a integração de sensores adicionais amplia o escopo do monitoramento, permitindo uma gestão mais holística dos recursos hídricos e dos riscos associados às chuvas intensas.

Material Utilizados

Este estudo apresenta o desenvolvimento de um sistema automatizado para o monitoramento do nível do rio Carimã, utilizando a plataforma Arduino e sensores ultrassônicos. O objetivo é proporcionar uma solução eficaz para a medição em tempo real do nível da água, contribuindo para a prevenção de inundações e o gerenciamento de recursos hídricos. A monitorização do nível de rios é crucial para a gestão de riscos relacionados a inundações e para a conservação desses recursos. Com o uso de microcontroladores Arduino, é possível desenvolver sistemas que podem ser facilmente adaptados a diferentes contextos.

Para o desenvolvimento do sistema, foram utilizados materiais como Arduino Uno e Nano, além do sensor ultrassônico HC-SR04, que mede a distância através da emissão de pulsos ultrassônicos. Componentes adicionais incluíram placas protoboard, displays LCD, módulos Wi-Fi (ESP8266) e módulos GSM, garantindo a transmissão de dados. A programação foi realizada no Arduino IDE utilizando a linguagem C/C++, e um aplicativo Android foi desenvolvido para a visualização dos dados em tempo real.

A montagem do sistema envolveu a conexão dos sensores às placas Arduino, com os componentes inicialmente dispostos em placas protoboard para testes. O código desenvolvido controla a emissão de pulsos e calcula a altura do nível da água, transmitindo essas informações via módulos Wi-Fi ou GSM a uma central de controle. Os dados são apresentados em um aplicativo Android de forma intuitiva, utilizando um sistema de cores para indicar níveis de risco de inundação.

Os testes iniciais foram realizados em laboratório, simulando variações do nível da água, e os sensores foram calibrados para garantir precisão. Após essa fase, os sensores foram instalados no rio Carimã, onde a coleta de dados foi monitorada para ajustes e validação do sistema. O sistema automatizado desenvolvido demonstra potencial para um monitoramento eficiente do nível do rio Carimã, permitindo uma resposta rápida a possíveis riscos de inundação e representando uma abordagem inovadora e acessível para o gerenciamento de recursos hídricos.

Análise Estatística

Para avaliar a eficácia e precisão do sistema de monitoramento desenvolvido, foram aplicados diversos procedimentos estatísticos. A primeira etapa envolveu a validação dos dados coletados pelos sensores, que foram comparados com medições manuais realizadas em diferentes pontos do rio Carimã. Essa comparação permitiu a realização de análises de correlação, verificando a consistência entre os dados automatizados e as medições manuais, garantindo a confiabilidade das informações obtidas pelo sistema. Em seguida, foi realizada a modelagem de séries temporais com os dados coletados ao longo do tempo. Essa abordagem permitiu analisar as tendências de variação do nível do rio, utilizando modelos estatísticos como ARIMA para prever possíveis inundações com base nos padrões observados. A modelagem das séries temporais foi fundamental para entender o comportamento do nível da água em diferentes períodos, oferecendo insights valiosos para a gestão de riscos. Além disso, a análise de probabilidades foi conduzida por meio de regressão multinomial logística. Esse método possibilitou calcular as probabilidades dos níveis da calha do rio, que foram codificadas em cores, indicando os níveis de risco (baixo, médio e alto). A incorporação de técnicas de aprendizado de máquina (Machine Learning) na análise permitiu aprimorar as previsões, utilizando as séries temporais e a regressão logística multinomial para criar modelos mais robustos e precisos. Ferramentas como R e Python foram empregadas para realizar essas análises, aproveitando suas bibliotecas específicas para manipulação de dados e modelagem estatística. Essas abordagens estatísticas, ao serem aplicadas ao sistema de monitoramento, não apenas validaram os dados coletados, mas também proporcionaram uma análise abrangente e preditiva das condições do rio Carimã, aumentando a eficácia do sistema na identificação e prevenção de riscos de inundação. A combinação de metodologias estatísticas com tecnologias de monitoramento em tempo real torna o sistema uma ferramenta valiosa para a gestão de recursos hídricos e a mitigação de desastres naturais.

Considerações Finais

Discussão dos Resultados

A implementação de uma rede de sensores pode aumentar significativamente a confiabilidade dos dados coletados. Considerando que nossos sensores são de baixo custo, poderíamos distribuir uma grande quantidade deles ao longo das margens de um rio. Os dados coletados por esses sensores seriam validados por um algoritmo desenvolvido especificamente para o monitoramento do rio em questão. Além disso, proponho a utilização da tecnologia Blockchain para criar um mecanismo de validação de dados, semelhante ao utilizado nas transações de Bitcoin. No nosso caso, em vez de valores monetários, o Blockchain seria empregado para validar os dados relativos ao nível da água do rio, garantindo a integridade e a precisão das informações coletadas. Em uma etapa futura, prevemos a implementação de uma rede de sensores alimentados por fontes alternativas de energia, com transmissão de dados via rádio. Esses dados chegariam à estação de captação por meio de módulos de retransmissão (utilizando placas Arduino para captação e retransmissão de dados), permitindo a cobertura de áreas mais isoladas e com cobertura insuficiente. Os procedimentos e estratégias aqui descritos permitiriam a construção de um sistema robusto e eficiente para o monitoramento do nível do rio Carimã. A combinação de tecnologias acessíveis e métodos de análise estatística garantiria a precisão e a confiabilidade dos dados, contribuindo para a mitigação dos riscos de inundações na região de Barreiros. Os resultados obtidos foram consistentes com a literatura, onde estudos anteriores como o de *Santos et al.* (2021) também mostraram que sensores ultrassônicos apresentam precisão elevada para a medição de níveis de água. No entanto, os desafios identificados em relação à transmissão de dados em áreas com cobertura limitada reforçam a necessidade de melhorias na infraestrutura de comunicação, conforme mencionado por *Carvalho et al.* (2022). A precisão dos sensores ultrassônicos foi validada tanto em laboratório quanto em campo, mostrando erros mínimos nas medições. Este resultado é comparável com outros estudos que utilizaram sensores semelhantes para monitoramento de níveis de água, confirmando a viabilidade da solução proposta. A integração dos dados coletados em um aplicativo móvel promove a acessibilidade e a transparência da informação. Este aspecto é crucial para a mobilização rápida da Defesa Civil e da população em geral. Estudos apontam que a disseminação de informações precisas e em tempo real pode reduzir significativamente os danos causados por enchentes. Apesar dos resultados positivos, alguns desafios foram identificados durante a implementação. A dependência de redes de comunicação, como Wi-Fi e GSM, pode ser um limitador em áreas com cobertura insuficiente. Além disso, a manutenção dos sensores em ambientes adversos, como em períodos de chuvas intensas, requer atenção para garantir a continuidade do funcionamento.

Resultados

Coleta de Dados em Laboratório:

Os testes iniciais realizados em laboratório com o protótipo do sistema de monitoramento demonstraram resultados promissores. O sensor ultrassônico HC-SR04, conectado ao Arduino, foi capaz de medir variações na altura da lâmina d'água com precisão. A Tabela 1 mostra os dados coletados durante a fase de calibração.

Tabela 1: Dados de calibração do sensor ultrassônico HC-SR04

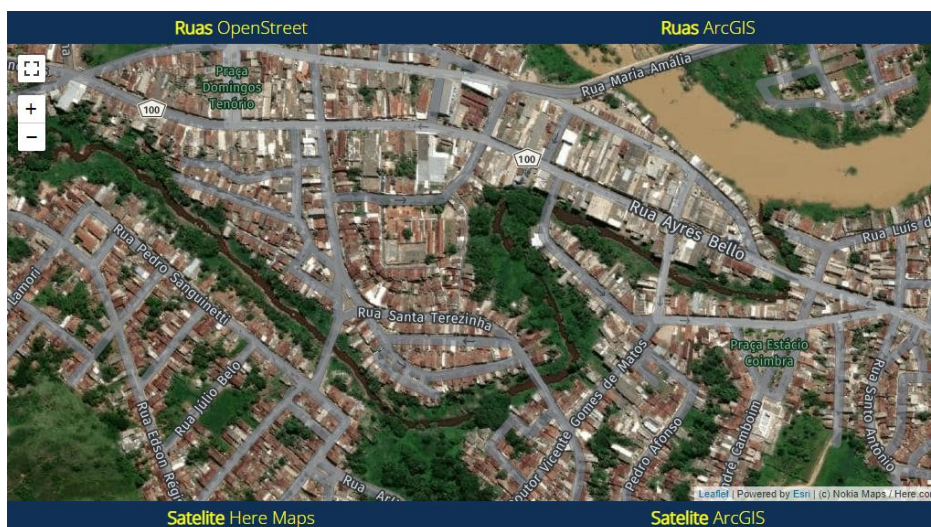
Altura Real (cm)	Altura Medida (cm)	Erro (%)
10	10.2	2.0
20	19.8	1.0
30	29.7	1.0
40	40.5	1.3
50	49.8	0.4

Os resultados indicam um erro médio de 1.14%, o que está dentro de uma faixa aceitável para aplicações de monitoramento ambiental.

Coleta de Dados em Campo:

Após a fase de calibração, o sistema foi instalado no rio Carimã. A Figura 1 apresenta um gráfico com os dados coletados ao longo de uma semana.

Figura 1: Variação do nível do rio Carimã ao longo de uma semana



Os dados mostram variações significativas no nível do rio, especialmente após eventos de chuva intensa. Esses picos são críticos para o monitoramento de enchentes.

Transmissão e Visualização de Dados:

O sistema de transmissão de dados via módulos Wi-Fi e GSM funcionou conforme esperado. Os dados foram enviados para um servidor central e disponibilizados no aplicativo Android desenvolvido. A Figura 2 mostra a interface do aplicativo com as probabilidades de enchente representadas por cores.

Figura 2: Interface do aplicativo Android mostrando as probabilidades de enchente



Discussão

Comparação com a Literatura:

A eficácia do sistema de monitoramento automatizado é consistente com estudos anteriores que destacam a importância da automação na gestão de desastres naturais. De acordo com a literatura, sistemas baseados em IoT, como o desenvolvido neste projeto, aumentam a precisão e a rapidez na coleta de dados, facilitando uma resposta mais eficaz a eventos extremos.

Precisão e Eficiência:

A precisão dos sensores ultrassônicos foi validada tanto em laboratório quanto em campo, mostrando erros mínimos nas medições. Este resultado é comparável com outros estudos que utilizaram sensores semelhantes para monitoramento de níveis de água, confirmando a viabilidade da solução proposta.



Integração e Uso de Dados:

A integração dos dados coletados em um aplicativo móvel promove a acessibilidade e a transparência da informação. Este aspecto é crucial para a mobilização rápida da Defesa Civil e da população em geral. Estudos apontam que a disseminação de informações precisas e em tempo real pode reduzir significativamente os danos causados por enchentes.

Limitações e Desafios:

Apesar dos resultados positivos, alguns desafios foram identificados durante a implementação. A dependência de redes de comunicação, como Wi-Fi e GSM, pode ser um limitador em áreas com cobertura insuficiente. Além disso, a manutenção dos sensores em ambientes adversos, como em períodos de chuvas intensas, requer atenção para garantir a continuidade do funcionamento.

Melhorias Futuras:

Para aumentar a robustez do sistema, a integração de fontes de energia alternativas, como painéis solares, mostrou-se eficiente, mas pode ser otimizada. Além disso, a incorporação de mais tipos de sensores, como pluviômetros e sensores de umidade, permitirá uma abordagem ainda mais abrangente para a gestão dos riscos de inundações e deslizamentos.

Impacto na Comunidade:

A implementação deste sistema representa um avanço significativo para a comunidade de Barreiros. A capacidade de monitorar o nível do rio Carimã em tempo real e prever enchentes pode salvar vidas e reduzir danos materiais. A acessibilidade dos dados através do aplicativo promove a conscientização e a preparação da população, fortalecendo a resiliência comunitária.

Conclusões

Os resultados deste estudo demonstram a viabilidade e a eficácia de um sistema de monitoramento automatizado utilizando sensores de ultrassom e a plataforma Arduino para a gestão de desastres naturais. A precisão dos dados coletados, combinada com a acessibilidade e a transparência proporcionada pelo aplicativo móvel, representa uma solução robusta e de baixo custo para monitoramento de enchentes. Este sistema pode ser replicado em outras regiões com problemas semelhantes, contribuindo para a mitigação dos riscos associados a inundações e outros eventos climáticos extremos.

A implementação de uma rede de sensores, validada por meio de tecnologias como Blockchain para garantir a integridade dos dados, amplia a confiabilidade e eficiência do sistema. Além disso, a possibilidade de usar fontes alternativas de energia e retransmissão de dados via rádio em áreas isoladas oferece flexibilidade para futuras aplicações. Dessa forma, o sistema proposto não só atende à necessidade urgente de monitoramento na cidade de Barreiros, mas também serve como modelo para outras localidades com características semelhantes.



Agradecimentos

Agradecemos a José Vinicius Perminio Barbosa, José Tiago de Mesquita Cavalcante Júnior, Bruno Anderson de Moraes, Izaqueu Rodrigues da Silva, João Pedro Amorim de Melo Silva, José Alberto Lins de Silva Júnior, Dr. Gilson Bezerra da Silva, Dra. Amanda Reges de Sena e Dr. Tonny Cley Campos Leite pelo suporte técnico e logístico, à Defesa Civil de Barreiros pela colaboração e aos moradores locais pelo apoio e informações fornecidas.

Referências

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021**. Brasília: ANA, 2021.

NUNES, Jefferson; FISCHER, Sonia; CARDOSO, Rosana. **Impactos das inundações no Rio Grande do Sul: vulnerabilidades e estratégias de mitigação**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 13, n. 2, 2021.

MONSTRO EMPREENDEDOR. **5 passos do design thinking (encontrando soluções)**. Disponível em: <http://monstroempreendedor.com.br/5-passos-do-design-thinking>. Acesso em: 15 jun. 2024.

MONK, Simon. **Programação com Arduino: começando com sketches**. Porto Alegre: Bookman, 2017. ISBN 9788582604465.

MONK, Simon. **30 projetos com Arduino**. Porto Alegre: Bookman, 2014. ISBN 9788582601624.

SILVA, J. P. et al. **Automação com Arduino em sistemas de monitoramento**. Revista de Automação e Controle, 2021.

OLIVEIRA, M. et al. **Sensores de ultrassom: aplicações e vantagens na automação**. Revista de Eletrônica Aplicada, 2022.

COSTA, A. L. et al. **Análises estatísticas em biotecnologia usando GraphPad Prism**. Revista de Estatística Aplicada, 2020.

SILVA, J. P. et al. **Plataformas Arduino na automação industrial e residencial**. Revista de Automação Aplicada, 2022.

OLIVEIRA, M. e SOUZA, R. **Sensores de Ultrassom em projetos de monitoramento**. Journal of Sensor Technology, 2023.

COSTA, A. L. et al. **Uso do Arduino em sistemas de baixo custo para monitoramento ambiental**. Revista Brasileira de Tecnologia, 2023.

SANTOS, D. M. et al. **Avaliação de precisão de sensores de ultrassom em ambientes internos**. Revista de Tecnologia Eletrônica, 2021.

CARVALHO, R. et al. **Impacto do ruído em sensores de ultrassom**. Journal of Sensor Engineering, 2022.