

Universidade São Judas Tadeu

Gestão Inteligente de ruas Alagáveis com Pavimentação Inovadora e Internet  
das Coisas (IoT): Soluções para Prevenção de Inundações Urbanas.  
(SolPIU)

Alunos:

Annely Desireé Junemann - RA: 824217739

Larissa da Silva Maschio - RA: 824221401

Francisco Alexandre Santos Melo - RA: 824219751

Natasha Melo de Sousa - RA: 82429222

Yasmin Victória Alves de Sousa - RA: 824210011

São Paulo 2024.

Sistemas Computacionais e Segurança

Professor Robson Calvetti

## Sumário

1. RESUMO/ABSTRACT
2. Introdução
3. Limitações dos sistemas de drenagem tradicionais: desafios enfrentados em cidades como São Paulo.
4. Tecnologias de pavimentação permeável: tipos de materiais e benefícios para drenagem urbana.
5. Sensores IoT para monitoramento de alagamentos: tipos, funcionamento e comunicação de dados.
6. Modelo proposto para integração de pavimentação inteligente e IoT: como o sistema funcionaria na prática.
7. Benefícios e sustentabilidade: impacto positivo no controle de alagamentos e viabilidade econômica.
8. Conclusão

## 9. Referências bibliográficas

## 1. Resumo

As inundações urbanas têm se tornado um problema crescente devido ao aumento da urbanização, mudanças climáticas e deficiências na infraestrutura de drenagem. As soluções para mitigar esses eventos incluem abordagens de engenharia e planejamento urbano. Entre as estratégias mais eficazes estão: o aumento da capacidade de drenagem urbana, por meio de sistemas de escoamento mais eficientes; o uso de infraestrutura verde, como parques urbanos, jardins de chuva e telhados verdes, que ajudam a absorver a água da chuva e reduzir o volume de escoamento superficial; e a implementação de sistemas de retenção de água, como bacias de retenção e cisternas. A adaptação das cidades também envolve a melhoria do planejamento urbano, com a criação de zonas permeáveis e a restauração de áreas naturais como manguezais e zonas alagáveis. A combinação dessas soluções pode reduzir significativamente o risco de inundações urbanas, melhorar a resiliência das cidades e contribuir para a sustentabilidade ambiental.

## 1. Abstract

The urban floods have become an increasing problem due to the increased urbanization, climate change and deficiencies in drainage infrastructure. The solutions to mitigate these events include engineering and urban planning approaches. Among the most effective strategies are: enlarging urban drainage capacity, through more efficient drainage systems; the use of green infrastructure, such as urban parks, rain gardens and green roofs, which help absorb rainwater and reduce the volume of surface runoff; and the implementation of water retention systems, such as detention basins and cisterns. The adaptation of cities also involves improving urban planning, with the creation of permeable zones and the restoration of natural areas such as mangroves and floodplains. The combination of these solutions can significantly reduce the risk of urban flooding, improve the resilience of cities and contribute to environmental sustainability.

## 2. Introdução

A SolPIU é uma solução inovadora que combina com tecnologias avançadas e infraestruturas adaptadas para mitigar os impactos das enchentes nas áreas urbanas. Com o crescimento das cidades e o aumento da impermeabilização do solo as enchentes se tornaram um problema recorrente, causando danos materiais, interrupções no tráfego e riscos à saúde pública. Nesse contexto, a integração de pavimentação inteligente e dispositivos baseados na internet das coisas (*IoT*) surge como uma abordagem eficaz para enfrentar esses desafios.

A SolPIU utiliza materiais permeáveis e sistemas de drenagem integrados que permitem a absorção e o escoamento eficiente da água nas vias. Paralelamente, sensores *IoT*, instalados em pontos estratégicos, monitoram em tempo real fatores como níveis de água, condições do solo e fluxo de tráfego. Essas informações são transmitidas para sistemas de gestão centralizadas, permitindo a tomada de decisões rápidas e baseadas em dados.

Essa abordagem não apenas contribui para a redução dos impactos das enchentes, mas também promove a sustentabilidade urbana, ao melhorar a resiliência das cidades às mudanças climáticas e otimizar o uso de recursos. Além disso, possibilita uma gestão mais eficiente das emergências e do planejamento urbano, proporcionando maior segurança e qualidade de vida para os moradores.

### 3. Limitações dos sistemas de drenagem tradicionais: desafios enfrentados em cidades como São Paulo

Os sistemas de drenagem tradicionais enfrentam várias limitações, especialmente em grandes cidades como São Paulo, onde a urbanização acelerada e a densidade populacional intensificam os desafios. Abaixo estão os principais problemas:

#### 3.1. Impermeabilização do solo

**Expansão Urbana e Crescimento de Infraestruturas:** Uma das maiores causas da impermeabilização do solo é o crescimento acelerado das cidades. O aumento da população e da demanda por moradia, transporte e comércio leva à construção de novas áreas urbanas, como edifícios, rodovias, estacionamentos e calçadas. Todos esses elementos são compostos por materiais impermeáveis, principalmente concreto e asfalto, que bloqueiam a infiltração de água no solo.

**Dados alarmantes:** Segundo a ONU, mais de **55% da população mundial** vive em áreas urbanas, e esse número deve crescer para **68% até 2050**. Com o aumento da urbanização, mais solos naturais serão cobertos por superfícies impermeáveis, exacerbando o problema.

**Impacto: Perda de Biodiversidade** - A impermeabilização do solo contribui para a [perda de biodiversidade](#), principalmente em áreas onde habitats naturais são substituídos por superfícies artificiais. O desaparecimento de áreas verdes e a drenagem inadequada afetam diretamente a fauna e a flora locais, dificultando a sobrevivência de espécies que dependem de habitats naturais para se alimentar e se reproduzir.

**Aumento das enchentes e inundações urbanas:** aumento das enchentes e inundações em áreas urbanas. Principalmente, quando o solo é coberto por materiais impermeáveis, a água da chuva não consegue infiltrar no solo e se acumula na superfície, resultando em enchentes. De fato, esse problema é agravado em áreas com sistemas de drenagem insuficientes ou mal planejados.



Fato alarmante: Em cidades altamente impermeabilizadas, como São Paulo e Tóquio, o número de enchentes aumentou drasticamente nas últimas décadas.

Estudos mostram que a impermeabilização do solo pode aumentar o risco de inundações em até 40%.

**3.2. Sistemas subdimensionados ou antigos:** Muitas redes de drenagem foram projetadas décadas atrás, sem considerar o crescimento populacional e o aumento do volume de chuvas.

**Impacto:** Incapacidade de escoar a água durante tempestades intensas, causando transbordamentos.

### **3.3. Assoreamento de rios e córregos**

A erosão do solo e o despejo de resíduos sólidos obstruem os cursos d'água e as estruturas de drenagem.

**Impacto:** Redução da capacidade de vazão e aumento do risco de inundações.

### **3.4. Gestão inadequada de resíduos sólidos**

Descarte incorreto de lixo em vias públicas e encostas.

**Impacto:** Entupimento de bocas de lobo e galerias, agravando os problemas de drenagem.

### **3.5. Falta de áreas verdes e espaços de retenção**

A ocupação urbana reduz as áreas de vegetação que ajudam a absorver e retardar o escoamento da água.

**Impacto:** Aceleração do fluxo de água para os sistemas de drenagem, sobrecarregando-os.

### 3.6. Mudanças climáticas

Chuvas mais intensas e imprevisíveis em função das mudanças climáticas.

**Impacto:** Os sistemas existentes não estão preparados para lidar com volumes extremos de água.

### 3.7. Ocupação irregular e desordenada

Construções em áreas de risco, como margens de rios e encostas, dificultam a implementação e manutenção de infraestrutura adequada.

**Impacto:** Agravamento de enchentes e deslizamentos.

### 3.8. Falta de planejamento integrado

Ausência de uma abordagem que integre drenagem urbana com planejamento do uso do solo e outras infraestruturas.

**Impacto:** Soluções fragmentadas que não resolvem o problema de forma eficiente.

## 4. Tecnologias de pavimentação permeáveis: tipos de materiais e benefícios para drenagem urbana.

A chuva é quase sempre um sinônimo de enchente na grande São Paulo. Um dos principais motivos é a impermeabilização do solo com o asfalto das ruas, impedindo a absorção da água. Para reduzir alagamentos de forma eficaz, uma possível solução é investir na implantação de pavimentos permeáveis à base de concreto, que favorece o escoamento e reduz o acúmulo superficial em até 100%.

O pavimento permeável é recomendado em estacionamentos, pátios residenciais, comerciais e industriais, vias para tráfego de veículos leves e

passeios públicos. Esse sistema é composto por uma camada de brita, na base do piso, que filtra a água da chuva, retendo resíduos sólidos que acabam deixando de contaminar o solo e os lençóis freáticos.

5. Sensores IoT para monitoramento de alagamentos: tipos, funcionamento e comunicação de dados.

#### Tipos de Sensores IoT para Monitoramento de Alagamentos

1. Sensores de Nível de Água: Medem a altura da coluna d'água em rios, bueiros e vias públicas para identificar riscos de enchentes. Utilizam tecnologias como ultrassom, radar ou pressão hidrostática.
2. Sensores de Umidade do Solo: Monitoram a saturação do solo, indicando a capacidade de absorção da água da chuva.
3. Sensores de Fluxo: Avaliam a velocidade e a direção do escoamento da água em sistemas de drenagem.
4. Câmeras com Inteligência Artificial: Analisam visualmente o acúmulo de água em tempo real, detectando áreas críticas.

#### Funcionamento dos Sensores

Os sensores IoT capturam dados físicos (nível de água, umidade, fluxo) e os convertem em informações digitais. Cada sensor é equipado com microcontroladores que processam os dados localmente e transmitem as informações para um sistema central via protocolos de comunicação, como LoRaWAN, Zigbee, Wi-Fi ou 5G.

#### Processo de Funcionamento:

1. Coleta de Dados: Sensores detectam condições ambientais e registram leituras periódicas.

2. **Processamento Local:** Dados básicos são processados no dispositivo para reduzir o volume de transmissão.
3. **Transmissão de Dados:** Informações são enviadas para uma central de controle ou armazenadas em nuvem.
4. **Análise e Ação:** Sistemas de inteligência artificial e análise preditiva processam os dados para gerar alertas e orientar ações preventivas ou corretivas

### Comunicação de Dados e Integração em Cidades Inteligentes

A integração de sensores IoT em cidades inteligentes permite criar redes interconectadas que monitoram em tempo real as condições de drenagem urbana e possíveis alagamentos. Os dados coletados são consolidados em plataformas de gerenciamento municipal, que utilizam big data e machine learning para identificar padrões e antecipar crises.

#### 1. Rede de Comunicação:

Protocolos de baixa potência como LoRa e NB-IoT permitem o funcionamento contínuo e de baixo custo dos sensores em áreas amplas.

Redes 5G facilitam a transmissão de grandes volumes de dados em tempo real.

#### 2. Sistemas de Gestão Integrada:

Dashboards centralizados apresentam mapas de calor, alertas de risco e previsões meteorológicas.

Integração com outros sistemas, como semáforos inteligentes e alertas via aplicativos para os cidadãos.

### Vantagens da Solução

**Prevenção de Danos:** A identificação precoce de riscos reduz perdas materiais e humanas.

Otimização de Infraestrutura: Dados auxiliam no planejamento e manutenção de sistemas de drenagem.

Sustentabilidade Urbana: Soluções baseadas em dados promovem o uso eficiente de recursos e a adaptação às mudanças climáticas.

Engajamento Cívico: Informações em tempo real fortalecem a comunicação entre governos e cidadãos. Essa proposta, ao aliar sensores IoT à gestão inteligente, representa um passo significativo para aumentar a resiliência urbana, melhorando a qualidade de vida em cidades afetadas.

6. Modelo proposto para integração de pavimentação inteligente e IoT: como o sistema funcionaria na prática.

O modelo sugerido une sistemas de pavimento permeável a sensores de IoT para supervisionar e amenizar inundações em zonas urbanas. A pavimentação empregada seria feita com materiais como concreto permeável ou bio-asfalto, capaz de absorver e armazenar temporariamente a água pluvial, diminuindo o acúmulo superficial e aprimorando a drenagem local. Por exemplo, o concreto permeável tem uma estrutura porosa que favorece a penetração da água, ao passo que o bio-asfalto é produzido com materiais sustentáveis, favorecendo a drenagem de forma ecológica e eficaz.

Os sensores de IoT têm uma função crucial no acompanhamento constante das condições ambientais. Aparelhos como medidores de umidade, fluxo de água e temperatura serão instalados de forma estratégica sob o pavimento ou em áreas críticas da infraestrutura urbana. Esses sensores recolheriam informações em tempo real acerca da quantidade de água absorvida, do grau de saturação do solo e dos potenciais perigos de inundações. Ademais, sensores de pressão poderiam ser implementados para identificar regiões com excesso de água, ao passo que sensores de qualidade da água poderiam ser empregados para acompanhar eventuais contaminações ou alterações nas propriedades da água pluvial.

A integração desses sensores seria realizada por meio de redes de comunicação IoT, como LoRaWAN, Wi-Fi ou 5G, que transmitiriam os dados coletados para uma plataforma centralizada de análise. Essa plataforma utilizaria algoritmos avançados para interpretar os dados, identificar padrões de risco e emitir alertas automáticos para equipes de gestão urbana ou moradores. A plataforma também seria capaz de realizar previsões baseadas nos dados históricos, permitindo que as autoridades locais tomem medidas preventivas antes da ocorrência de alagamentos.

Além de otimizar a gestão das águas pluviais, a plataforma permitiria que moradores e gestores urbanos acessassem os dados em tempo real, recebendo alertas rápidos e identificando áreas críticas para manutenção. Sensores eficientes, como os de tecnologia LoRaWAN, garantiriam operação contínua, contribuindo para o manejo das águas pluviais e o planejamento urbano sustentável.

7. Benefícios e sustentabilidade: impacto positivo no controle de alagamentos e viabilidade econômica.

Em 2024 a prefeitura de São Paulo investe R\$166,6 milhões em projetos contra os alagamentos ajudando cerca de 500 mil pessoas em estado crítico tendo um impacto positivo em grandes áreas urbanas e melhorando a qualidade de vida local e gerando Benefícios como descritos a abaixo:

1. Redução de Danos à Infraestrutura e Propriedades: os alagamentos podem causar destruição em ruas, imóveis, instalações comerciais além de prejudicar o transporte. Com a ajuda de um sistema de drenagem inteligente os danos econômicos tiveram uma grande redução.
2. Proteção a saúde humana: Doenças transmissíveis pela água contaminada dos alagamentos têm causado danos a vida humana doenças dermatológicas como a “dermatite de contato”.

3. Melhora da Qualidade Ambiental: Tendo Soluções naturais como jardins de chuva (uma infraestrutura natural que absorve a água do pavimento) e vegetação nativa, ambos ajudam a filtrar os poluentes antes que atinjam os ecossistemas.
4. Desenvolvimento Econômico: Com a redução de danos a infraestruturas e a propriedades melhora a atividade econômica e com a preservação de áreas verdes podem aumentar o valor imobiliário

Com um grande foco no controle de alagamentos e adotando estratégias preservando o meio ambiente é possível criar cidades mais resilientes e saudáveis com um desenvolvimento social e econômico. A adoção dessas soluções promove uma gestão mais equilibrado dos recursos naturais investir em estratégias sustentáveis de controle de alagamento é um passo importante para um futuro mais seguro e ambiental.

Os alagamentos causam danos a infraestruturas urbanas, como ruas, pontes, edifícios e sistemas de transporte. O custo da reparação e manutenção é alto com um eficaz de controle de alagamentos pode gerar uma grande redução nos custos da infraestrutura.

O aumento dos alagamentos também afetou o mercado imobiliário tendo o valor de alguns imóveis gravemente reduzido, com o valor reduzido das propriedades houve uma grande queda na economia ao todo, com o excesso de alagamentos aumenta dificultando de encontrar um comprador disposto a correr o risco de ver o imóvel atingido por uma enchente futura, com uma gestão inteligente de das águas pluviais a economia tende a se estabilizar com o passar do tempo.

Com a implementação de projetos de controle de alagamentos, gerou um aumento na geração de empregos tanto na área de manutenção, monitoramento e gestão de águas pluviais tendo mais oportunidades de emprego em diversos setores.

Os benefícios do controle de alagamento como citados acima não só promovem uma estabilidade financeira como gera também gera redução de danos a estruturas e criando um ambiente mais sustentável e seguro no ambiente urbano.

## 8. Conclusão

As soluções para as inundações urbanas exigem uma abordagem integrada, que envolva a adaptação das cidades às mudanças climáticas e a gestão eficaz dos recursos hídricos. Entre as principais alternativas, destacam-se o investimento em infraestrutura verde, como parques urbanos e sistemas de drenagem sustentável (ex: jardins de chuva e calçadas permeáveis), que ajudam a absorver a água da chuva e reduzir o escoamento superficial. Além disso, é essencial a implementação de sistemas de alerta e monitoramento para antecipar e mitigar os impactos das inundações. O planejamento urbano adequado, com áreas permeáveis e a recuperação de cursos d'água, também são medidas cruciais para evitar o alagamento em áreas críticas. Por fim, a educação e conscientização da população sobre práticas preventivas e a importância da preservação ambiental são fundamentais para garantir a resiliência das cidades frente a esse desafio crescente.



## 9. Referências bibliográficas

- <https://capital.sp.gov.br/web/prefeitura-de-sao-paulo/w/prefeitura-de-sao-paulo-investe-r-166-6-milhoes-em-novo-piscinao-para-contencao-de-cheias-na-zona-leste-%C2%A0%C2%A0#:~:text=Com%20o%20objetivo%20de%20reduzir,6%20milhoes%20da%20atual%20administração.>
- <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/231-controle-de-enchentes>
- <https://www.ecycle.com.br/jardim-de-chuva/>
- <https://www.scielo.br/j/asoc/a/BfMYpNPzCpLPX5GWMcYQDZR/>
- <https://jornalibia.com.br/destaque/enchentes-impactaram-fortemente-mercado-imobiliario/#:~:text=>
- <https://ondasbrasil.org/sistemas-urbanos-de-esgotos-e-drenagem-das-aguas-pluviais-poluicao-difusa-e-interconexoes/>
- <https://www.scielo.br/j/cm/a/DtipbSNnDJXFQkVmp4TbL4L/>
- [Sistemas urbanos de esgotos e drenagem das águas pluviais- poluição difusa e interconexões - ONDAS - Observatório dos Direitos à Água e ao Saneamento](#)
- [GESTAO DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL DESAFIOS PARA .pdf](#)
- <https://grpsantoanjo.com.br/concreto-permeavel-a-solucao-sustentavel-que-transforma-a-drenagem-urbana/#:~:text=O%20concreto%20perme%C3%A1vel%20%C3%A9%20uma%20varia%C3%A7%C3%A3o%20do%20concreto%20tradicional%20que,de%20drenagem%20urbana%20e%20enchentes.>
- <https://revistaplaneta.com.br/cientistas-desenvolvem-concreto-que-ajuda-a-evitar-enchentes/>
- <https://paineldemudancasclimaticas.org.br/noticia/asfalto-verde>
- <https://blog.ofitexto.com.br/meio-ambiente-recursos-hidricos/impactos-sistema-drenagem-urbana-ineficaz-inexistente/>
- [Avaliação de Sistemas de Drenagem e de Aproveitamento de Águas Pluviais em Grandes Metrópoles face às Alterações Climáticas – Um Estudo de Caso sobre a Cidade de São Paulo, Brasil](#)