

## 1. INTRODUÇÃO

A região de Jacaraípe (Serra-ES), composta por 16 bairros e cerca de 40 mil moradores, em épocas de chuvas, sofrem com problemas relacionados às enchentes. Até o início da década de 70 a bacia hidrográfica do rio Jacaraípe era tipicamente rural. O processo de ocupação rápida da região, sem nenhuma preocupação ambiental, impôs grandes modificações na superfície do solo, alterando o escoamento de águas de chuva. Ao mesmo tempo, houve assoreamento do leito do Rio Jacaraípe e estreitamento, devido, entre outros fatores, as construções executadas irregularmente nas suas margens e dentro do próprio rio.

A Lagoa Juara funciona como um reservatório amortecedor de enchentes com grande capacidade de acumulação de água. O Rio Jacaraípe é o escoadouro natural da lagoa, ele é responsável pelo escoamento das chuvas da bacia e pela entrada de água salgada na lagoa, ou seja, quando chove o nível de água da lagoa sobe e o excesso é escoado pelo rio até reestabelecer o equilíbrio com o nível do mar e recomeçar o processo de fluxo e refluxo das marés para a lagoa através do rio. Isto faz com que a lagoa Juara seja um enorme criadouro de peixes e de outras espécies marinhas. O assoreamento do rio faz com que a água do mar não chegue à lagoa, pois o nível desta tem se mantido muito acima de seu ponto de equilíbrio natural. Sem a renovação da água, os níveis de oxigênio se mantêm muito baixos para sustentar grandes populações de vida aquática (Prefeitura, 2014).

A solução definitiva para os problemas supracitados depende de estudos ambientais e obras com eventuais desapropriações. São processos de médio e longo prazo. Embora não seja a solução para o problema ambiental, realizar o monitoramento constante do nível de água dos elementos que compõe a bacia hidrográfica do rio Jacaraípe, pode ser uma forma imediata, de baixo custo, para atenuar os problemas decorrentes das enchentes. Neste cenário, as Redes de Sensores sem Fio (Wireless Sensor Networks) (AKYILDIZ et al., 2002; YICK; MUKHERJEE; GHOSAL, 2008) têm se tornado ferramentas essenciais, pois são capazes de realizar monitoramento de grandezas do mundo físico.

Redes de Sensores sem Fio (RSSF) (LOUREIRO et al., 2003) são estruturas formadas por diminutos nós com capacidade de processamento, armazenamento, comunicação e sensoramento, que permitem aos seus usuários interagirem e observarem, com grande nível de detalhe e precisão, os mais variados ambientes, domínios e objetos de interesse. As suas características de baixo custo, pequena dimensão, flexibilidade e facilidade de implantação dão a essas redes um potencial enorme de aplicação em diversas áreas, permitindo que elas se apresentem como componentes importantes de soluções de monitoramento e controle em vários cenários de aplicação. Por exemplo, em um cenário de Cidades Inteligentes (SU; LI; FU, 2011; RNP 2012), as RSSF podem ser usadas na implantação de serviços de observação e controle de aspectos do cotidiano das cidades, como monitoramento de rios, córregos (FAVA, Maria Clara et al, 2013; MARTINS JÚNIOR, 2013; ASWALE, Pramod et al. 2015) e matas urbanas (SZEWCZYK, Robert et al., 2004), monitoramento de áreas de desastre e risco, entre outros.

Este artigo apresenta uma infraestrutura de redes de sensores que suporta o monitoramento de rios, levando em consideração os aspectos acima discutidos. O objetivo do projeto é construir um dispositivo com capacidade de sensoramento e comunicação sem fio para monitoramento da bacia hidrográfica do rio Jacaraípe para predição de enchentes. O artigo está estruturado como segue. A Seção 2 introduz alguns trabalhos relacionados; A Seção 3 infraestrutura proposta. São descritos os principais elementos funcionais, que promovem o funcionamento da rede de sensores com o ambiente de monitoramento. A Seção

4 descreve detalhes da implementação realizada; e a Seção 5 conclui o artigo, apresentando as considerações finais e as perspectivas futuras.

## **2. TRABALHOS RELACIONADOS**

Na literatura da área, existem vários trabalhos que descrevem infraestruturas para monitoramento de rios. Exemplos representativos são os trabalhos descritos em (PECHOTO et al, 2013), (FLORIANO et al, 2014), (LOFFI et al, 2016) e (FAVA et al, 2013), os quais são brevemente discutidos a seguir.

Em (PECHOTO et al, 2013) é apresentado um projeto de monitoramento em tempo real dos rios de São Carlos-SP. O nó da rede (composto pelo mote XBee, sensor de pressão, bateria e painel solar) envia os dados lidos pelo sensor de pressão através do protocolo de comunicação sem fio ZigBee IEEE 802.15.4 para o gateway. O gateway adotado foi um roteador sem fio IEEE 802.3, utilizando OpenWRT. Para possibilitar a comunicação com os motes do projeto, um módulo Xbee foi conectado ao roteador. Os dados recebidos pelo gateway, oriundos dos motes, são encaminhados para o servidor, onde são processados e feita a análise de criticidade do nível do rio. O software presente no servidor gera gráficos em tempo real, conforme os dados são coletados pelos sensores de pressão no rio. A infraestrutura proposta foi integrada ao SISMA DEN - desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em que as leituras captadas pelos sensores são transformadas em arquivos padrão PCD (Ponto de Coleta de Dados) enviados via protocolo FTP.

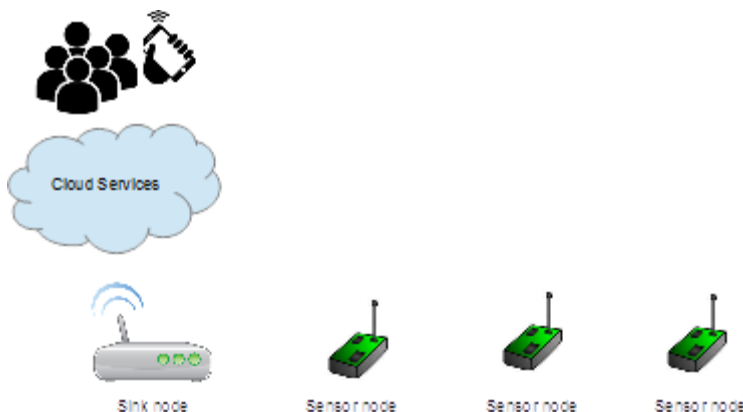
Em (LOFFI et al, 2016) é proposto um protótipo para monitoramento do nível do Rio Itajaí Açu e de chuva. Foi utilizado um Sensor Infravermelho Sharp, uma placa micro controladora (Arduino Uno), Shield de Ethernet, para o Arduino, e antenas e cabos para enviar os dados e recepção dos mesmos na sede. No projeto foram utilizados uma boia (Isopor), um pluviômetro eletrônico, um Arduino, um sensor Sharp e uma régua de acrílico para ser demarcado os pontos de metragem. Um computador no local foi utilizado para recolher os resultados via transferência USB. Os dados foram recolhidos, no período de uma hora, em Ituporanga e os resultados obtidos foram satisfatórios ao existente no sistema CEOPS. Porém não o projeto de pesquisa não foi concluído por completo por falta de verba.

Em (FLORIANO et al, 2014) é proposto um Sistema de Informação Geográfica para Monitoramento de Alagamentos On-line – SIGMAOn. A ferramenta foi desenvolvida para a utilização de órgãos governamentais, da população bem como empresas privadas para permitir que sejam detectadas as regiões passíveis de alagamentos das áreas de risco das cidades cadastradas. Foi utilizado serviços de mapas do Google para apresentar visualmente as informações aos usuários. Dentre as funcionalidades do sistema estão a simulação de pontos e áreas de alagamento e a consulta de rotas não alagadas entre localidades da cidade. Para o desenvolvimento do projeto foi utilizado a APIs e serviços de manipulação de mapas, a Google Maps Javascript API v32 foi escolhida por ser gratuita e dispor de ferramentas que atendem as necessidades do sistema.

Em (FAVA et al, 2013) foi apresentado uma metodologia para integrar informações voluntárias a modelos de previsão em curto prazo, apresentando uma solução para o preenchimento de dados espacialmente em locais onde não se têm sensores de monitoramento. O uso dos dados de VGI tem como principais vantagens o aprimoramento e atualização em tempo real das previsões nos pontos monitorados por sensores WSN e estimar os valores dos níveis dos pontos não monitorados.

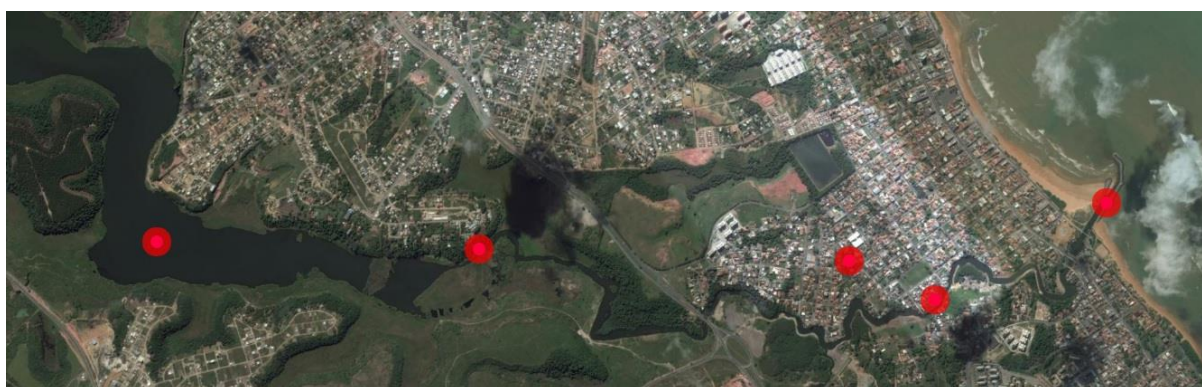
### 3. INFRAESTRUTURA PROPOSTA

A Figura 1 apresenta a infraestrutura proposta, composta de dois tipos de dispositivos de monitoramento – *Sink node* e *Sensor node*; a *cloud services* e o aplicativo *mobile*. Os dispositivos de monitoramento têm como objetivo realizar o processo de sensoriamento do nível do Rio Jacaraípe, eles devem estar dispostos no curso do rio, em pontos críticos, a uma distância limitada a capacidade do módulo de comunicação sem fio (Figura 2). O *Sink node* tem uma função adicional, provendo um mecanismo de conexão com a Internet e com o *cloud services*. Este último, trata-se de um arcabouço de serviços providos em uma plataforma de computação em nuvem, que viabiliza a disponibilização dos dados coletados, integração com redes sociais e envio de alertas aos aplicativos para dispositivos móveis.



**Figura 1:** Infraestrutura proposta.

A figura abaixo ilustra a bacia hidrográfica do rio Jacaraípe, no qual é possível observar a lagoa do Juara, o estreitamento do rio, os bairros afetados pelas enchentes e o encontro das águas do mar e do rio Jacaraípe.



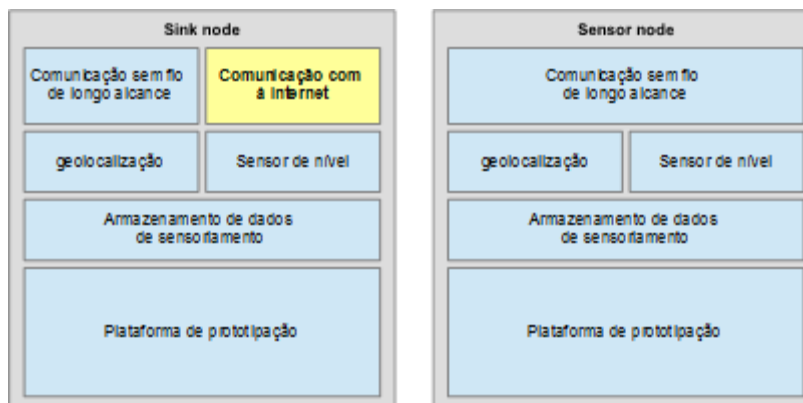
**Figura 2:** Vista aérea do rio Jacaraípe (Google Maps).

A seção seguinte apresenta a estrutura conceitual dos dispositivos de monitoramento.

#### 3.1. DISPOSITIVOS PROPOSTOS

A Figura 3 apresenta os elementos que compõem os dispositivos de monitoramento. O *Sensor node* é composto por uma plataforma de prototipação, no qual é possível incrementar

outros componentes de hardware e software a fim de especializar sua função; um componente de armazenamento de informações coletadas no processo de sensoriamento; um elemento capaz de prover a geolocalização do dispositivo, o sensor de nível capaz de monitorar o rio Jacaraípe e uma interface de comunicação sem fio de longo alcance para viabilizar a comunicação entre os dispositivos ao longo do curso do rio.



**Figura 3:** Sink node e Sensor node.

O *Sink node* difere por possuir uma função adicional – um componente que disponibiliza conexão com a Internet sem fio. A próxima seção discute a análise de tecnologias para construção dos dispositivos de monitoramento.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mecanismo que realiza a função de monitoramento do nível do rio Jacaraípe é um elemento chave para o desenvolvimento do dispositivo. Para tanto, foram elencados os principais sensores do mercado e realizada uma análise considerando alguns aspectos, tais como: resistência, precisão, facilidade de implementação entre outros. O resultado desta análise foi compilado na tabela 1.

**Tabela 1:** Sensores e características.

Sensores	Resistência	Precisão	Implementação	Manutenção	Sem fio	Preço
Nível ICOS	Média	Ótima	Fácil	Fácil	Sim	R\$ 30,00
Magnético	Média	Boa	Regular	Regular	Não	R\$ 14,90
Shield sensor de nível	Alta	Boa	Fácil	Fácil	Sim	R\$ 14,90
Ultrassônico	Média	Ótima	Regular	Fácil	Sim	R\$ 17,84

Percebe-se que o sensor de nível ICOS se destaca como o mecanismo mais equilibrado, segundo os parâmetros analisados. Em seguida, temos o sensor ultrassônico, que possui um processo de implementação mais custoso se comparado com o sensor ICOS. Entretanto, os sensores citados possuem um funcionamento distinto e a implementação em conjunto torna o dispositivo de monitoramento adequado as características do ambiente a ser utilizado.



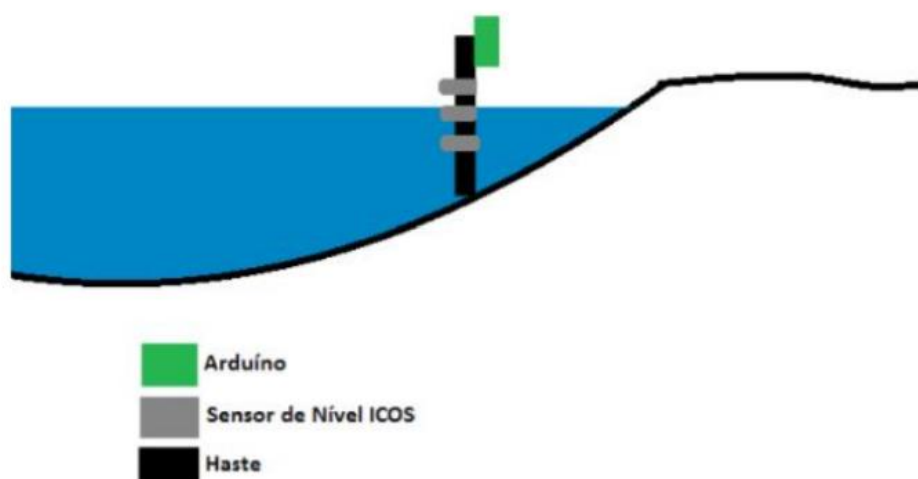
O próximo elemento analisado foi a plataforma de prototipação, em que, foi realizado uma comparação entre os equipamentos/acessórios e as plataformas – arduino uno, mega, pro mini, Raspberry PI e Beaglebone Black. A tabela 2 foi construída para explicitar o resultado da análise, onde o “X” representa atende plenamente, o “O” indica que atende parcialmente e por fim o “-” não atende.

Conclui-se que a plataforma arduino placas Arduino levam vantagem e se mostram mais viáveis. Estas placas se mostram superiores por sua simplicidade, por ser um equipamento barato, por possuir maior resistência de hardware e por funcionar utilizando apenas uma bateria, que pode ser carregada por um painel solar. Além disso, ela possui uma capacidade de leitura de dados analógicos dos sensores em tempo real, o que só poderia ser conseguido com o Raspberry Pi ou o BeagleBone Black com a assistência de outros periféricos.

**Tabela 2:** Requisitos e tecnologias de prototipação.

<b>Equipamentos</b>	<b>Arduino Uno</b>	<b>Arduino Mega</b>	<b>Arduino Pro Mini</b>	<b>Raspberry PI</b>	<b>Beaglebone Black</b>
<b>Shield sensor de nível</b>	X	X	X	-	O
<b>Sensor ultrassônico</b>	X	X	X	O	O
<b>Sensor de nível ICOS</b>	X	X	X	X	X
<b>Sensor Boia Magnética</b>	X	X	X	X	X
<b>Alimentação por bateria/painel solar</b>	X	X	X	X	X
<b>Comunicação Wireless</b>	X	X	X	X	O
<b>Simuladores</b>	X	X	X	O	O
<b>Disponibilidade/Mercado</b>	X	X	X	X	O

Diante da discussão sobre os sensores e da plataforma de prototipação, a proposta deste trabalho é colocar sensores de nível para líquidos (Sensor de Nível ICOS) na margem do rio. Esses sensores, que estarão presos em um cano, por onde passarão os fios, funcionarão como interruptores, ou seja, assim que a água do rio subir, eles serão ativados, e irão enviar uma mensagem ao Arduino, que conectado à internet, encaminhará para o Cloud Services, acionando um serviço de emissão de alerta à população. A haste será envolvida em uma tela para evitar que lixos possam atrapalhar o funcionamento destes dispositivos. A figura 4 ilustra a implementação física do dispositivo.



**Figura 4:** Protótipo com sensores ICOS.

Conforme o cenário de implementação supracitado, faz-se necessário o levantamento dos periféricos necessários para construção do dispositivo. A tabela 3 apresenta os itens com uma avaliação de determinadas características e os respectivos valores.

**Tabela 3:** Estruturas das tecnologias de prototipação.

Material	Resistência	Manutenção	Vida útil	Nível de oxidação	Unidade	Preço
Cano PVC	Baixa	Fácil	Baixa	Baixo	Peça	R\$ 40,00
Cano metálico	Alta	Difícil	Alta	Médio	Unidade	R\$ 14,90
Adaptador de cano PVC em T	Baixa	Fácil	Baixa	Baixo	Peça	R\$ 35,00
Adaptador de cano metálico em T	Alta	Difícil	Alta	Médio	Peça	R\$ 8,56
Caixa plástica elétrica	Baixa	Fácil	Baixa	Baixo	Peça	R\$ 94,00
Tela Galvanizada	Alta	Difícil	Alta	Médio	Rolo	R\$ 40,00
Tela plástica	Baixa	Fácil	Baixa	Baixo	Rolo	R\$ 139,90
Hastes de aço inox	Alta	Fácil	Alta	Baixo	Metro	R\$ 20,00
Parafusos inox	Alta	Fácil	Alta	Baixo	Peça	R\$ 2,80
Boia salva vidas	Alta	Fácil	Alta	Baixo	Peça	R\$ 99,00
Painel solar	Média	Fácil	Alta	Baixo	Peça	R\$ 219,00
Fio	Média	Fácil	Alta	Médio	Rolo	R\$ 49,90
Bateria	Média	Fácil	Alta	Médio	Rolo	R\$ 105,00

Com intuito de reproduzir em laboratório o cenário de investigação, foi construída uma maquete (figura 5) composta por dois recipientes, uma bomba d'água, e o dispositivo composto pelos dois mecanismos de sensoriamento. A bomba d'água simula o processo de enchente e os sensores detectam com êxito os níveis de alerta e nível crítico, encaminhado essas informações sem fio para um outro dispositivo construído.



**Figura 5:** Maquete construída.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto encontra-se em andamento, como perspectivas previstas estão: integração com a plataforma em nuvem e disponibilização dos dados em uma plataforma de mapas; o desenvolvimento de um aplicativo, para dispositivos móveis, com intuito de emitir notificações sobre possíveis enchentes. Depois de finalizado, o projeto ficará disponível no site do projeto e em serviços como o GitHub, sob licença GNU, com devida documentação.

## 6. REFERÊNCIAS

- AKYILDIZ, I. F., SU, W., SANKARASUBRAMANIAM, Y., & CAYIRCI, E.** Wireless sensor networks: a survey. *Computer networks*, 38(4), 2002, 393-422.
- ASWALE, PRAMOD et al.** Water environment monitoring system based on wsn. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)*. 2015.
- FAVA, MARIA CLARA et al.** Proposta metodológica para previsões de enchentes com uso de sistemas colaborativos. *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, p. 1-8, 2013.
- FLORIANO, DIOGO et al.** SIGMAOn–Sistema de Informação Geográfica para Monitoramento de Alagamentos On-line. *XXXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação (CSBC)*, 2014.
- LOFFI, LEANDRO ET AL.** MONIT-RIO– Tecnologia da informação de comunicação para monitoramento de rios em casos de cheias, *XIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGeT)*. 2016.
- LOUREIRO, A. A. et al.** Redes de sensores sem fio. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*. Anais, 2003.

**MARTINS JÚNIOR, CLÁDIO JOSÉ et al.** Riversense: um sistema para monitoramento de rios através de redes de sensores sem fio. 2013.

**PECHOTO, MURILO M.; UHEYAMA, JÓ; PEREIRA, J. P. A.** E-noé: Rede de sensores sem fio para monitorar rios urbanos. In: Congresso Brasileiro Sobre Desastres Naturais. 2012.

**PREFEITURA DE SERRA.** 2014. Disponível em: <<http://www.serra.es.gov.br/cg-coordenadoria-de-governo/2014/04/obra-de-limpeza-e-dragagem-do-rio-jacaraipe-segue-a-todo-vapor>>.

**SU, K.; LI, J.; FU, H.** Smart city and the applications. Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011 International Conference on. Anais...IEEE, 2011.

**SZEWCZYK, ROBERT et al.** Habitat monitoring with sensor networks. Communications of the ACM, v. 47, n. 6, p. 34-40, 2004.

**YICK, J., MUKHERJEE, B., & GHOSAL, D.** Wireless sensor network survey. Computer networks, 52(12), 2008, 2292-2330.