

## **ENTRAVES AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UM CONTRA-ATAQUE TÉCNICO-CIENTÍFICO POR MEIO DA INOVAÇÃO NAS ESTRATÉGIAS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL**

*BARRIERS TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT: A TECHNICAL-SCIENTIFIC  
COUNTERATTACK THROUGH INNOVATION IN ENVIRONMENTAL MONITORING  
STRATEGIES*

**WILSON PIMENTA DA SILVA D'ÁVILA**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESPÍRITO SANTO (IFES)

### **Comunicação:**

O XII SINGEP foi realizado em conjunto com a 12th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com o Casablanca Climate Leadership Forum (CCLF 2024), em formato híbrido, com sede presencial na ESCA Ecole de Management, no Marrocos.

### **Agradecimento à órgão de fomento:**

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Ifes – campus Linhares, por possibilitar o meu aprimoramento técnico e crescimento profissional. Em especial, por meio da pesquisa, do meu doutoramento, contribuir para o enfrentamento dos problemas ambientais urbanos.

## **ENTRAVES AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UM CONTRA-ATAQUE TÉCNICO-CIENTÍFICO POR MEIO DA INOVAÇÃO NAS ESTRATÉGIAS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL**

### **Objetivo do estudo**

Estimar a magnitude dos efeitos hidrodinâmicos combinados – chuva intensa e maré cheia – em Vila Velha (ES), por meio de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) de baixo custo e demonstrar que vários ODS podem ser simultaneamente alcançados.

### **Relevância/originalidade**

O comportamento hidrodinâmico das inundações não é bem conhecido porque faltam ações/estratégias de monitoramento, seja por lacunas técnicas ou financeiras. Com o desenvolvimento, aprimoramento e disseminação das estratégias adotadas neste trabalho, tais dificuldades poderão ser superadas.

### **Metodologia/abordagem**

Um dispositivo de monitoramento ambiental, utilizando uma placa de Arduino e outros componentes eletrônicos, foi construído para registrar a altura na lâmina d'água. Após calibrado, este dispositivo foi instalado no córrego Ataíde, haja vista o histórico de inundações do local.

### **Principais resultados**

No dia 12 de janeiro de 2023 a combinação de uma chuva intensa com uma onda de maré cheia produziu um cenário de grande vulnerabilidade. O fator mais agravante na hidrodinâmica registrada foi a ampliação do tempo de permanência da inundação.

### **Contribuições teóricas/metodológicas**

A pesquisa demonstrou ser possível inovar nas estratégias de monitoramento ambiental utilizando TICs de baixo custo. Com apenas 49 dólares foi possível apreender um importante comportamento do sítio analisado, gerando informações capazes de suportar outras importantes ações de proteção social.

### **Contribuições sociais/para a gestão**

O dispositivo DWL-5025 irá contribuir para enfrentamento das mudanças climáticas em sítios urbanos. Atualmente está sendo aprimorado, mas já se mostra capaz de fornecer dados para modelagem ambiental, gestão de riscos hidrodinâmicos e, em tempo real, subsidiar ações de defesa civil.

**Palavras-chave:** Território, Mudança climática, Inundação, Arduino, Geografia Física

***BARRIERS TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT: A TECHNICAL-SCIENTIFIC COUNTERATTACK THROUGH INNOVATION IN ENVIRONMENTAL MONITORING STRATEGIES***

**Study purpose**

Estimate the magnitude of the combined hydrodynamic effects – intense rain and high tide – in Vila Velha (ES), through low-cost Information and Communication Technologies (ICTs) and demonstrate that several SDGs can be simultaneously achieved.

**Relevance / originality**

The hydrodynamic behavior of floods is not well known because there is a lack of monitoring actions/strategies, whether due to technical or financial gaps. With the development, improvement and dissemination of the strategies adopted in this work, such difficulties can be overcome.

**Methodology / approach**

An environmental monitoring device, using an Arduino board and other electronic components, was built to record the height in the water depth. After calibration, this device was installed in the Ataíde stream, given the location's history of flooding.

**Main results**

On January 12, 2023, the combination of intense rain and a high tide wave produced a scenario of great vulnerability. The most aggravating factor in the recorded hydrodynamics was the increase in the duration of the flood.

**Theoretical / methodological contributions**

The research demonstrated that it is possible to innovate environmental monitoring strategies using low-cost ICTs. With just 49 dollars it was possible to understand an important behavior of the analyzed site, generating information capable of supporting other important social protection actions.

**Social / management contributions**

The DWL-5025 device will contribute to face climate change in urban areas. It is currently being improved, but is already capable of providing data for environmental modeling, hydrodynamic risk management and, in real time, supporting civil defense actions.

**Keywords:** Territory, Climate change, Flood, Arduino, Physical Geography

## ENTRAVES AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UM CONTRA-ATAQUE TÉCNICO-CIENTÍFICO POR MEIO DA INOVAÇÃO NAS ESTRATÉGIAS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

### 1 Introdução

Vencer desafios globais não é tarefa simples. A partir desta premissa é que, segundo ONU Brasil (2024), em 2015 os países-membros das Nações Unidas traçaram a Agenda 2030, assumindo conjuntamente os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS (Figura 1). Dentre os ODS, a construção de Cidades e Comunidades Sustentáveis (ODS 11) é muito desafiador, haja vista as diferentes condições sociais, culturais e econômicas e as múltiplas escalas dos fenômenos (Aquino et al., 2017).

### Figura 1

*Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)*



ONU Brasil (2024)

É praticamente impossível alcançar os ODS tratando-os em separado. Por exemplo, promover Ações contra a Mudança Global do Clima (ODS 13) é uma tarefa intimamente ligada à promoção de Cidades e Comunidades Sustentáveis (ODS 11), por sua vez intimamente interligado à Redução das Desigualdades (ODS 10). Nesse sentido, torna-se inequívoco que qualquer parte interessada – sociedade, governo, entes privados, etc. – é incapaz de, sozinha, posicionar e dar o torque necessário a todas estas engrenagens que constituem os ODS. Assim, lidar com a questão em pauta requer estratégias inteligentes e inovadoras.

Considerando, a nível internacional, o vasto universo de propostas e tentativas, tais como acordos, reuniões, financiamentos, etc. (Capaz & Horta Nogueira, 2014), não é pequena a crença de que sociedade civil, em suas diferentes frentes, pode ofertar contribuições muito relevantes (Santos, 2021). Neste cenário, em que local e global se entrelaçam, soluções envolvendo ciência, tecnologia e inovação precisam ser cada vez melhor distribuídas e incorporadas aos territórios para contribuir de forma mais ampla e profunda no enfrentamento dos desafios contemporâneos (Bueno, 2013).

Tais desafios – globais – muitos deles direta ou indiretamente ligados às mudanças do clima, manifestam-se veementemente nas cidades (Miguez et al., 2018). Uma das faces recorrentes destas manifestações nas áreas urbanas tem sido a intensificação fluxos de matéria e energia que se dá por meio da circulação da água (Canholi, 2014). Quanto à mudança climática em curso, possivelmente, no momento, não seja possível freá-la, contudo, a junção de uma boa governança com um aparato adequado de ciência, tecnologia e informação, poderão constituir um dos principais instrumentos para lidar com a questão.

Existem diversas cidades no Brasil que, independentemente do sítio geomorfológico no qual estão instaladas – planaltos, planícies ou depressões – arcam com elevados prejuízos materiais e humanos por causa do despreparo quanto à gestão dos fluxos de matéria e energia, disparados pelas chuvas, em seus territórios (Miguez et al., 2018). Vários exemplos poderiam ser chamados, contudo, para o momento, referimo-nos aqui à cidade de Vila Velha, localizada na face litorânea do Estado do Espírito Santo, por constituir um clássico exemplo de território em que os impactos das inundações são constantemente combatidos.

Trata-se de um território de enorme complexidade, tanto histórico quanto ambiental, haja vista que, sendo um dos marcos do início da colonização portuguesa – a Capitania do Espírito Santo – experimentou ocupação não planejada sobre um ecossistema frágil – manguezais – no qual a ação das ondas de maré sempre fez parte do cotidiano. A combinação destes fatores – maré cheia com chuvas intensas – acentuam ainda mais as desigualdades existentes no território.

Assim, na perspectiva de que eventos extremos de precipitação irão apresentar tendência de se tornarem cada vez mais frequentes, num ambiente em que as marés governam os ambientes costeiros; em Vila Velha, alguns questionamentos têm ficado sem respostas, dentre eles: qual é a magnitude do cenário resultante dessas duas dinâmicas combinadas? Como responder a esta pergunta de modo satisfatório sem requerer elevados recursos financeiros? A resposta às problemáticas anteriores poderiam contribuir para atingir, simultaneamente, mais de um ODS e exportar esta experiência para outros sítios urbanos?

Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo estimar a magnitude dos efeitos hidrodinâmicos combinados – chuva intensa e maré cheia – em Vila Velha (ES), por meio de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) de baixo custo e demonstrar que vários ODS podem ser simultaneamente alcançados.

## **2 Referencial Teórico**

Para a atualidade, a mudança climática tem sido considerada um fenômeno global em andamento e inequívoco (Mendonça & Dani-Oliveira, 2007). Diante disso, entendendo que uma de suas possíveis consequências é o aumento da intensidade e frequência das chuvas, uma adequada preparação dos territórios torna-se necessária para enfrentar e/ou adaptar-se a uma nova realidade. Nesse cenário, as cidades concentram elevado nível de preocupação, pois,

em virtude de sua densidade e importância na produção do espaço, a cidade, em suas múltiplas relações com o regional, o nacional, o intraurbano, é uma escala privilegiada de tensões onde os riscos e os perigos se manifestam de forma intensa e multidimensional, dificultando a compreensão e gestão da vulnerabilidade. (Barbieri & Viana, 2013, p. 94)

E é nesse contexto que se encontra Vila Velha, uma cidade localizada na faixa litorânea do Estado do Espírito Santo. Fundada em 1535, constituiu o ponto de início do processo de ocupação e colonização da então Capitania do Espírito Santo, cujo donatário era Vasco Fernandes Coutinho (S. Oliveira, 2008). Uma cidade que, historicamente, foi construída às custas de aterros e ocupações de áreas de mangue e pequenos córregos, direta ou indiretamente ligados à baía de Vitória (D'Ávila, 2018). Hoje, significativa área de seu território urbanizado encontra-se a cotas altimétricas iguais ou próximas do nível do mar (Zape, 2020).

Neste cenário de terras baixas, muitos de seus territórios são influenciados pelo regime da maré, que, aliado à ocupação irregular, assoreamento, lixo e intensa intervenção nos cursos d'água, experimenta frequentes processos inundatórios (D'Ávila, 2018). Nesse espaço urbano, vários fatores se combinam para formar um complexo sistema hidrodinâmico no qual uma possível mudança do clima não pode ser vista com causa única de eventos de elevada magnitude.

Tal afirmativa, considerando as análises realizadas por D'Ávila (2018), se deve principalmente por causa da complexidade hidrodinâmica do território e, nesse sentido, Marandola (2013) alerta para o fato de que “cada alteração no geossistema não produzirá linearmente os mesmos efeitos em todas as cidades, regiões, ou para todas as pessoas do mesmo modo” (p. 101). Esse contexto leva a uma necessidade de, cada vez mais, conhecer em abrangência e profundidade os espaços que compõem as diferentes faces, processos e dinâmicas do espaço urbano, haja vista que, segundo Santos (2021) “o espaço não é nem uma coisa nem um sistema de coisas, senão uma realidade relacional: coisas e relações juntas” (p. 30).

O espaço deve ser considerado como um conjunto indissociável, de que participam, de um lado, certo arranjo de objetos geográficos, objetos naturais e objetos sociais, e, de outros, a vida que os preenche e os anima, ou seja, a sociedade em movimento. (Santos, 2021, p. 31)

Assim, é neste espaço urbano, considerando suas dimensões geográficas, que surgem nítidas e distintas situações de vulnerabilidades, requerendo dos gestores – e dos diversos atores – a percepção de que a vulnerabilidade, por si só, constitui elemento complexo do território. A esse respeito, por exemplo, a partir de um importante desdobramento conceitual é possível compreender que:

A vulnerabilidade social está relacionada com as mudanças bruscas e significativas que ocorrem na vida do indivíduo ou no grupo que está suscetível a essas mudanças, sendo essas referentes à educação, à saúde, à cultura, ao lazer e ao trabalho. (Aquino et al., 2017, p. 29)

A vulnerabilidade ambiental pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de características ambientais naturais ou de pressão causada por atividade antrópica; ou ainda de sistema frágeis de baixa resiliência, isto é, a capacidade concreta do meio ambiente em retornar ao estado natural de excelência, superando uma situação crítica. (Aquino et al., 2017, p. 15)

A avaliação da vulnerabilidade ambiental não é completa se estudada a partir de um único aspecto do sistema. Assim sendo, visando discutir a sua multidimensionalidade, buscou-se conjugar a avaliação de vulnerabilidade ambiental a fatores sociais e econômicos, conceito conhecido como vulnerabilidade socioambiental. (Aquino et al., 2017, p. 35)

Diante do exposto, conhecer o comportamento da água nas cidades passa a ser fundamental para mantê-la em funcionamento e proteger seus cidadãos. Nesse aspecto, segundo Vargas (2013, p. 100) torna-se necessário conhecer o comportamento do sistema em suas escalas locais e regionais para estabelecer certas relações causais. Disso decorre a necessidade de monitoramento ambiental que

consiste na observação contínua dos parâmetros que funcionam como indicadores ... Para o caso dos processos hidrológicos, os parâmetros que funcionam como indicadores podem ser diretos (cotas do nível d'água dos rios, altura da lâmina d'água), indiretos (medidas de chuva) ou uma combinação de ambos, que é o ideal. O monitoramento é realizado com a finalidade de identificar, com certa antecedência, situações perigosas capazes de provocar desastres, porém, de forma isolada, ele é insuficiente para atingir esse objetivo. (Miguez et al., 2018, p. 259)

Assim, a falta de monitoramento tem sido apontada como causa de vários problemas urbanos da atualidade. Olivo e Milioni (2003), por exemplo, apontam que “a ausência de séries confiáveis de precipitação e vazão, bem como de pessoal capacitado... podem deixar populações à margem dos mais significativos avanços que poderiam sanar em grande parte suas adversidades” (p. 2); Asano e Uchida (2016) apontam que “compreender a capacidade de descarga dos canais ... é essencial para a previsão de inundações repentinas” (p. 1).

Contudo, há pouco mais de uma década, estas tarefas eram permeadas por elevada dificuldade, sobretudo, tecnológica, haja vista que, segundo S. Oliveira (2021), os dispositivos necessários eram pouco acessíveis face sua complexidade operacional e custos muito mais elevados. Segundo este autor, foi a partir do Arduino® que esta realidade começou a mudar, pois, “ não se trata de um microcontrolador, mas, sim, de uma plataforma de desenvolvimento de sistemas embarcados de baixo custo aberta e livre. Assim, não está vinculado a nenhum fabricante específico...” (p. 49).

O Arduino teve a primazia de tonar o desenvolvimento de sistemas embarcados acessível a toda espécie de curiosos, entusiastas e estudantes de elétrica, eletrônica e de computação. Antes do Arduino, desenvolver um sistema embarcado exigia a compra de um kit de desenvolvimento nem sempre barato, com recursos para programação e gravação dos microcontroladores, além da necessidade de construir uma placa para acomodar os componentes. As placas de Arduino vêm prontas para utilização e integração e têm baixo custo; o ambiente de desenvolvimento tornaram a tarefa mais fácil. (Oliveira, 2021, p. 50)

A placa de Arduino (Figura 2, à direita) é o componente responsável por controlar sensores, atuadores e outros dispositivos eletrônicos. Para isso, além de conectar esta placa aos dispositivos de interesse, é necessário criar um código fonte. Este código é escrito, na maioria dos casos, diretamente no Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino, que é um software (Figura 2, centralizado). O código, também conhecido como sketch, ao ser compilado (verificado) e transferido (carregado) na placa é que comandará todo circuito eletrônico. Assim, podem ser executadas desde tarefas simples, como acender leds, até tarefas mais complexas, por exemplo, de monitoramento ambiental (Monk, 2017).

## Figura 2

*A placa de Arduino Uno à direita e seu Ambiente de Desenvolvimento Integrado (software)*



Arduino e Cia (2021)

Nesse caminho de possibilidades, Pedrolo (2011), Andrade et al. (2016), Silva (2016) Mota et al. (2016), Araujo (2024), Teixeira et al. (2017), Menezes (2020), Pereira et al. (2021); Matavale (2023) e Tavares (2023) produziram importantes trabalhos no sentido de desenvolver técnicas de monitoramento ambiental utilizando a plataforma Arduino, seja através da placa de desenvolvimento da própria Arduino, que apresenta diferentes versões, ou de outros fabricantes, tais como a placa ESP 32 da fabricante Expressif.

### 3 Metodologia

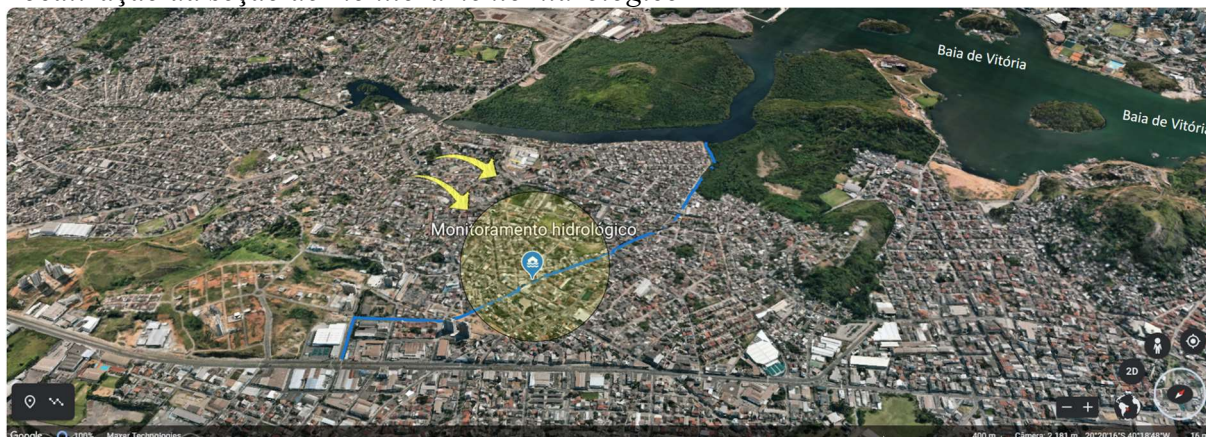
Na busca por alcançar os objetivos desta pesquisa a cidade de Vila Velha (ES) foi tomada como sítio de investigação, haja vista seu histórico de inundações e a relevância desta cidade no contexto das articulações sociais, econômicas e culturais em território capixaba. Como outras cidades do Brasil, quando atingida pelo extravasamento dos cursos d'água, esta cidade sofre impactos de diversas formas, dentre eles, os apontados por Vargas (2013) que se refere à “destruição da infraestrutura e a paralisação de atividades” (p. 80).

Nesta cidade, Vila Velha, o local escolhido como sítio de análise foi a bacia do rio Aribiri, diretamente ligada à bacia do rio Marinho, que guardam entre si uma íntima relação geossistêmica (Zape, 2020). Na bacia do Aribiri, o córrego Ataíde, um dos tributários desta bacia, liga-se diretamente a baía de Vitória. Por se tratar de um curso d'água urbano, influenciado pelo efeito da maré, com trechos assoreados, indevidamente ocupados, dentre outros fatores combinados (D'Ávila, 2018), este curso d'água foi escolhido para investigação.

Através de diálogos com moradores e comerciantes do local, foi identificado um dos locais onde as inundações são mais frequentes e cujos efeitos mostram-se mais prejudiciais à dinâmica social e econômica da comunidade. Assim, neste trecho de maior incidência do fenômeno inundatório, uma seção de monitoramento hidrológico (Figura 3) foi escolhida para, a partir dela, tentar responder aos questionamentos e alcançar os objetivos.

#### Figura 3

##### *Localização da seção de monitoramento hidrológico*



Adaptado de Google Earth® (2024)

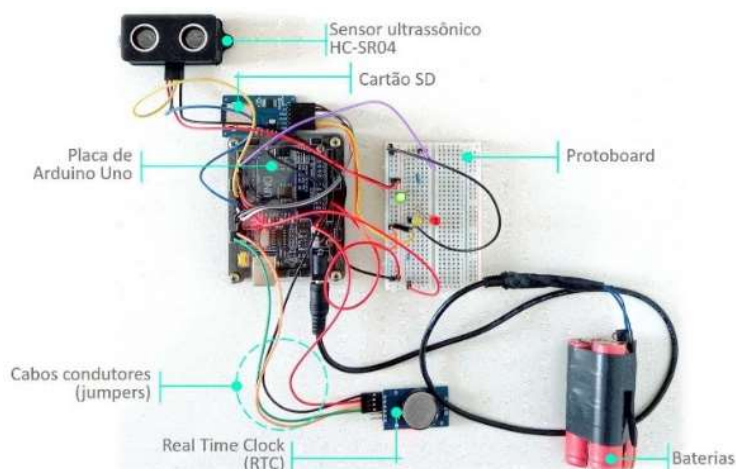
Para isso, uma engenharia foi sendo adotada para, a partir das TICs de baixo custo, verificar qual a magnitude do cenário resultante quando dois efeitos (maré alta e chuva intensa) manifestam-se simultaneamente no local; sem com isso requerer elevados recursos financeiros. Assim, Após extensiva revisão bibliográfica, o que incluiu a análise de datasheets (manuais) específicos, o circuito foi construído utilizando-se um sensor ultrassônico (HC-SR04) para medir a distância da lâmina d'água; um cartão de memória (Micro SD) para gravar os registros e um RTC – Real Time Clock (relógio digital) – para indicar o instante de coleta de dados.

Todos estes elementos foram interconectados por jumpers (cabos eletrônicos) ligados a uma protoboard (placa de interligação). Todo o circuito (Figura 4) comandado por uma placa de Arduino Uno foi alimentado por baterias. Os fundamentos desta engenharia podem ser encontrados em Alciatore e Histand (2014), Monk (2017) e S. Oliveira (2021).



**Figura 4**

*Circuito eletrônico comandado por uma placa de Arduino Uno*

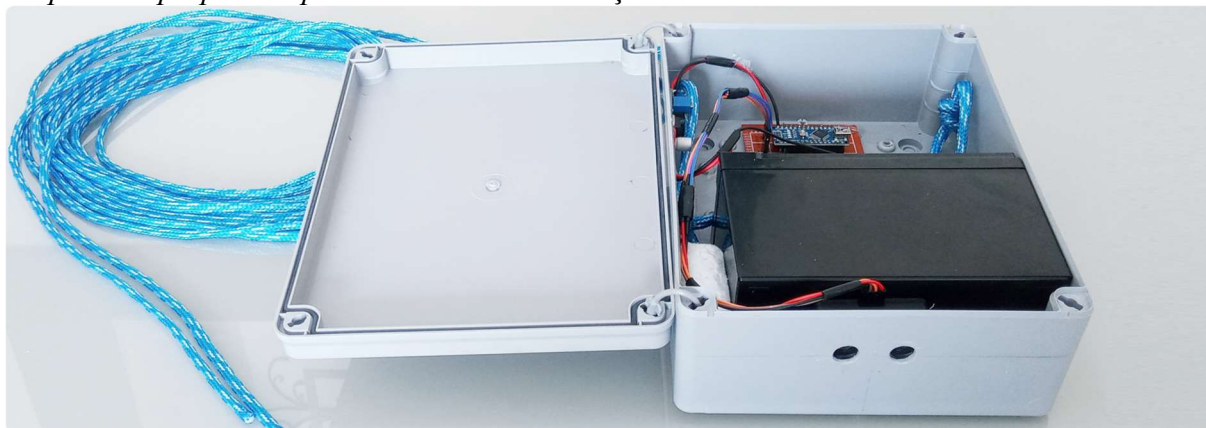


Acervo de imagens do autor

Após construído, foram iniciados os primeiros testes de bancada, tendo sido verificado que as baterias não ofereciam duração adequada para duradoura autonomia do sistema embarcado. Assim, uma bateria de 7V 12A (bateria de Nobreak) foi utilizada para garantir autonomia de pelo menos 5 dias. A placa de Arduino Uno foi substituída por uma placa de Arduino Nano, para reduzir a quantidade de fios – jumpers – envolvidos, facilitando a visualização e manutenção circuito. Feitas estas alterações o circuito foi encapsulado num invólucro e preparado para ser instalado (Figura 5) na seção de monitoramento.

**Figura 5**

*Dispositivo preparado para ser instalado na seção de monitoramento*



Acervo de imagens do autor

Em laboratório, o dispositivo foi calibrado e sua curva de calibração demonstrou um erro máximo de 3 cm em 3 m (1%). Esta margem de erro foi considerada aceitável para este tipo de monitoramento e o dispositivo foi instalado em uma parede de alvenaria (Figura 6). Já estando próximo do início do verão, chuvas convectivas já eram esperadas (Ynoue et al., 2017). Assim, foram iniciadas sistemáticas observações tanto da previsão do tempo quanto da tábua de maré para que análises de campo também pudessem ser realizadas em locu.

**Figura 6**

*Dispositivo de monitoramento instalado em parede de alvenaria*



Acervo de imagens do autor

#### 4 Análise de resultados e Discussões

Uma vez preparada toda engenharia de monitoramento, acompanhada das estratégias de vigilância in loco, o dia 12 de janeiro de 2023 deu sinais de que poderia ser o dia da combinação hidrodinâmica tão esperada. Isso porque, nesse dia, o céu já estava permeado por muitas nuvens. Além disso, a previsão de maré para Vila Velha indicava uma onda de maré cheia no final da tarde (Figura 7), podendo resultar na combinação esperada, composta por uma chuva intensa num curso d'água submetido ao efeito da maré alta.

**Figura 7**

*Previsão de onda de maré cheia no final da tarde do dia 12 de janeiro de 2023*



Adaptado de Tabua de marés (2023)

Acompanhando o comportamento hidrodinâmico do canal, foi verificado que por volta das 16h00min o córrego Ataíde já estava apresentando significativa elevação de sua lâmina d'água, aproximando-se, cada vez mais do nível de transbordamento – nível da rua – (Figura 8). Uma pequena chuva já havia ocorrido, mas suficiente apenas para molhar as vias e gerar um pequeno fluxo de escoamento, sem, contudo, contribuir para elevação do nível do curso d'água.

## Figura 8

*Córrego Ataíde quase atingindo o nível de transbordamento*



Acervo de imagens do autor

Além disso, ainda por volta das 16h00min, o céu começou a apresentar uma concentração de nuvens muito maior do que aquela observada durante outros momentos do dia. Estas nuvens, agora mais densas e escuras, forneciam indícios de que, a qualquer momento, o evento de chuva poderia ocorrer (Figura 9). Assim, tudo levava a acreditar que a combinação de chuva intensa e maré cheia poderiam, enfim, revelar um dos comportamentos hidrodinâmicos mais temidos do sítio analisado, pois, segundo os moradores e comerciantes locais, a combinação de chuva com maré cheia poderia gerar um cenário dos mais complicados.

## Figura 9

*Nuvens densas e escuras indicando evento de chuva prestes a ocorrer*



Acervo de imagens do autor

Assim, às 16h45min teve início um evento de chuva convectiva que, caracterizado por elevado volume de precipitação em um curto intervalo de tempo (Silva et al., 2015). Rapidamente o canal fluvial alcançou o nível de transbordo. O escoamento superficial disparado pela interação da referida precipitação com a superfície da bacia, ao alcançar este curso d'água, deparou-se com uma calha fluvial que já estava próximo ao seu nível de extravasamento (Figura 10). Isso porque, conforme apontado anteriormente, o canal estava já sob atuação de uma maré cheia.

**Figura 10**

*Córrego Ataíde próximo de seu nível de extravasamento*



Acervo de imagens do autor

Nas proximidades da seção de monitoramento, enquanto a água subia, uma intensa movimentação – corrida e caminhada – foi sendo realizada pelo autor da pesquisa para observar o comportamento do maior número de pontos possível. Assim, foi percebido que, por meio de suas janelas ou até mesmo fora de suas casas, os moradores, preocupados com a subida da água, acompanhavam o tamanho do problema que estava se manifestando (Figura 11).

**Figura 11**

*Moradores acompanhando a subida do nível d'água*



Acervo de imagens do autor

A chuva não alcançou 01h00min de duração, mas sua combinação com a maré cheia fez com que as águas de extravasamento demorassem a recuar para dentro da calha fluvial. O acompanhamento das consequências in loco foi encerrado por volta das 22h00min – por causa do cansaço do autor. Infelizmente, ainda nesse horário, haviam muitas casas parcialmente inundadas, pessoas expondo-se a ao contato direto com água (esgoto doméstico) extravasada e condutores de veículos que tentavam atravessar a onda de cheia (Figura 12).

**Figura 12**

*Condutores de veículos tentando atravessar a onda de cheia*



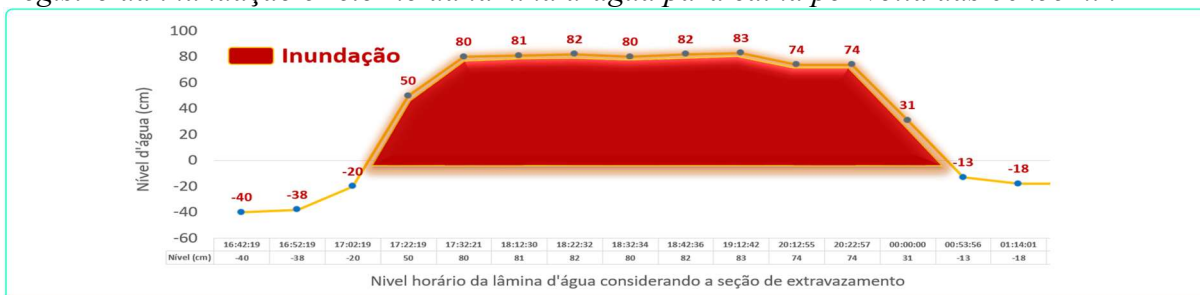
Acervo de imagens do autor

No dia seguinte, os registros do dispositivo de monitoramento foram coletados, tratados e analisados. Nesta etapa, foi verificado que a onda de cheia permaneceu por mais 6 h após o fim da chuva e este tempo de permanência estava bastante fora do esperado para a bacia hidrográfica em análise (bacia do córrego Ataíde). Nesta seção de monitoramento, o tempo de concentração – tempo em que todos os pontos da bacia contribuem para formação/vazão da lâmina d’água numa determinada seção – era de no máximo 30 min.

Assim, o fim da chuva, ocorrida por volta das 18h00min, deveria conduzir a uma redução gradual da inundação a partir das 18h30min, de modo que o fluxo extravasado fosse naturalmente regredindo para dentro da calha fluvial, mas não foi isso que ocorreu. Os registros mostraram que a lâmina d’água só retornou para dentro da calha do córrego Ataíde por volta das 00h55min do dia 13 de janeiro (Figura 13). A partir deste momento, a lâmina d’água foi recuando até atingir a cota normal deste curso d’água, por volta das 04h30min da manhã.

**Figura 13**

*Registro da inundação e retorno da lâmina d’água para calha por volta das 00h55min*

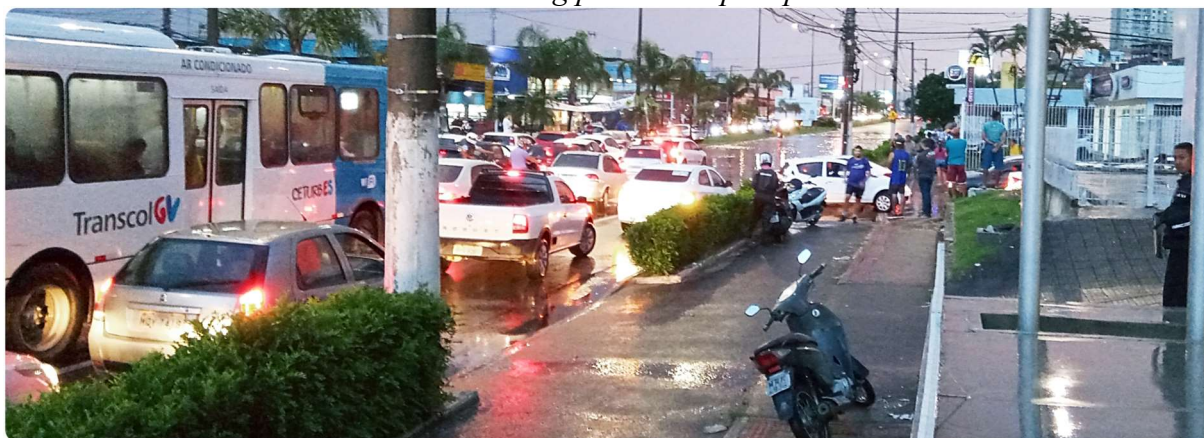


Acervo de imagens do autor

Diante do exposto, foi constatado que o dispositivo serviu à finalidade proposta, pois registrou o comportamento resultante dos eventos combinados – chuva intensa e maré cheia. Contudo, o acompanhamento in loco evidenciou outros desdobramentos do processo hidrodinâmico, por exemplo, o travamento ruas e avenidas (Figura 14). Além disso, foi por meio do compartilhamento de experiências in loco – antes, durante e depois da inundação – que houve uma adequada compreensão de que dispositivos são muito importantes, mas jamais dariam conta apreender todas as consequências do processo hidrodinâmico na vida das pessoas.

## Figura 14

### *Travamento da Avenida Carlos Lindemberg provocada pelo processo inundatório*



Acervo de imagens do autor

Quanto à técnica de monitoramento, foi constatado que – a partir da observação da onda de cheia – mesmo quando nenhum carro se lançava sobre a lâmina d'água, flutuações de aproximadamente 10 cm eram comumente observadas na superfície líquida; quando carros adentravam à lâmina d'água, ondas de até 30 a 40 cm eram facilmente geradas. Como foram poucas as tentativas de atravessar a lâmina d'água durante o processo inundatório, em especial quando este já estava bem estabelecido e não mostrava sinais de recuo, nenhuma destas ondulações foram registradas pelo dispositivo de monitoramento.

Contudo, estas observações serviram de alerta para o fato de que os profissionais que por ventura se lançarem a lidar como monitoramento ambiental precisam ficar muito atentos a estas ondulações, pois, caso estas tivessem sido capturadas pelo dispositivo de monitoramento, poderiam ser interpretadas como uma flutuação brusca da onda de cheia; como um dado estranho ao monitoramento, ou ainda, não serem adequadamente compreendidas.

Nesse aspecto, considerando que as características operacionais do dispositivo projetado permitem com que este possa ser utilizado no monitoramento de outros ambientes para além do urbano, é importante que o pesquisador considere a magnitude da flutuação admissível no escopo do monitoramento projetado. A título de ilustração, por exemplo, num monitoramento de inundações urbanas, conforme apontado, o aparecimento de ondulações de 140 cm possivelmente seria interpretado como um dado estranho; mas, seguramente, poderiam ser incorporados como dados válidos na análise de registros de um ambiente marítimo/costeiro.

Um dos objetivos deste monitoramento não foi construir um dispositivo de baixo custo – haja vista que custo alto ou baixo é bastante relativo – mas, foi a partir de TICs de baixo custo, construir dispositivos capazes de atenderem, de forma confiável, as diversas exigências de monitoramento. Nesse aspecto, notadamente, mudanças no código e incorporação de outros dispositivos, facilmente implementáveis, permitirão que o dispositivo tenha suas funcionalidades ampliadas. Ainda assim, a título de exemplificação, é importante destacar que o custo final do dispositivo (Figura 5) ficou abaixo US\$ 42.00 ( $\cong$  R\$ 230,00).

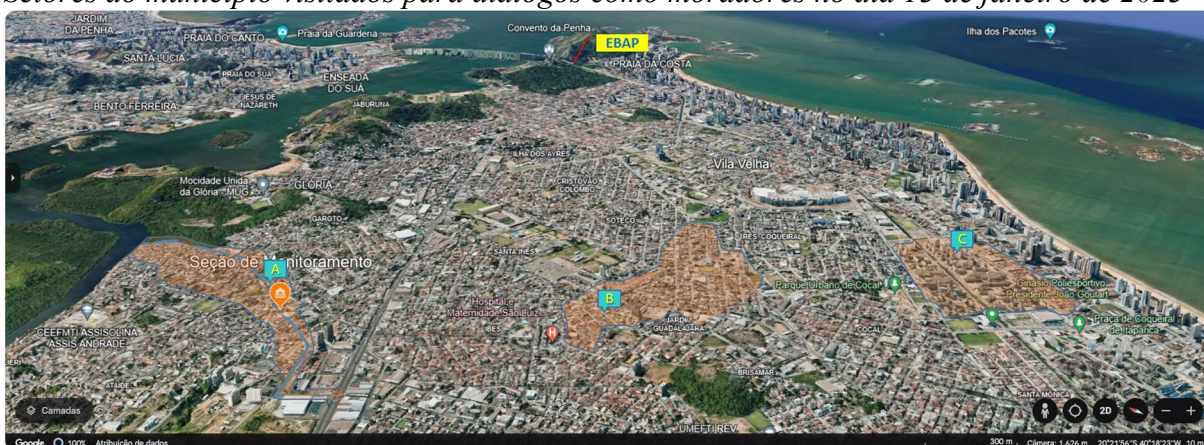
Assim, reitera-se que o dispositivo pode, com facilidade, incorporar novas funcionalidades, tais como acionar sistemas de alerta/alarme em condições de nível de lâmina d'água pré-definida; integrar-se a semáforos, mantendo-os fechados, piscando, ou redirecionando fluxos; fornecer, em tempo real, dados para que a defesa civil possa acompanhar a subida e descida da d'água; informar, por meio de telas/monitores, o nível em que a lâmina d'água se encontra, evitando, a depender de sua profundidade, que condutores tentem atravessá-

la; alimentar banco de dados para modelagens hidrológicas, utilizados na construção de infraestruturas urbanas, etc.

Considerando a chuva do dia 12 de janeiro de 2023, no dia seguinte, ou seja, no dia 13 de janeiro, três setores do município, já bem conhecidos pelo autor, foram visitados para, a partir de diálogos com os moradores, apreender um pouco mais sobre o comportamento do território (Figura 15). Estes setores foram delineados – sem utilização de cartografia de precisão – apenas para situar o leitor sobre os resultados apreendidos. Assim, no polígono C foi relatada a ocorrência de forte inundação, com duração aproximada de uma hora; no polígono B, foram recebidos relatos de uma cheia considerável, com permanência média de 2 horas. No polígono A, conforme registrado, o tempo de permanência foi praticamente o triplo B e o sêxtuplo de C.

### Figura 15

*Setores do município visitados para diálogos como moradores no dia 13 de janeiro de 2023*



Acervo de imagens do autor

As investigações de campo através dos relatos foram todos muito importantes, em todos os territórios, contudo, nitidamente os impactos hidrodinâmicos no setor A, sítio investigado e monitorado, foram melhor compreendidos. Disso extrai-se que, o monitoramento por si só, como demonstrado, não dá conta de apontar os melhores caminhos para gestão do território conforme apontado por Miguez et al. (2018), mas, não se pode negar que se trata de uma importante ferramenta. Para aqueles que não conhecem a cidade, existe ainda muita coisa a dizer, ou indagar: por que tamanha diferença entre os tempos de permanência da água nos três polígonos urbanos?

Bem, a resposta não é simples, muito menos seria possível fornecê-la com base apenas no comportamento dos sistemas ambientais físicos. Portanto, ao invés de responder diretamente, pois não é este o objetivo desta pesquisa, é importante que o leitor saiba que existem tantas outras diferenciações entre os polígonos; dentre elas, sociais. Assim, na relação entre o local e global, existem fatos que são únicos, outros, mais gerais, que podem também ser trazidos para, com limitações, auxiliar na interpretação dos territórios, pois

as cidades brasileiras são, nesse contexto, exemplos claros da completa dissonância entre crescimento e políticas públicas orientadoras do desenvolvimento urbano, sendo que nas grandes cidades e regiões metropolitanas os problemas atingem a condição de extrema gravidade. Marcadas pela alta segregação socioespacial e, portanto, pela absurda concentração de renda, elas constituem péssimo exemplo das relações sociais na construção dos ambientes da vida humana. (Mendonça et al., 2013, p. 157)

Existem alguns setores da cidade que, ao longo de sua formação histórica, por diversas razões, receberam mais atenção, planejamento, infraestrutura, dentre outros. Assim, é

importante frisar que os acontecimentos, os fenômenos manifestados sobre um território, não correspondem a uma resposta – ingenuamente simples – da dinâmica da natureza. O sistema urbano, nesta pesquisa interpretado através de sua hidrodinâmica, é muito mais complexo do que aparenta. Atualmente, algumas áreas de Vila Velha são protegidas por EBAPs – Estações de Bombeamento de Águas Pluviais (Figura 16), mas este não é o caso do polígono A.

**Figura 16**

*Estação de Bombeamento de Águas Pluviais - EBAP*



Acervo de imagens do autor

Deixando aqui algumas discussões para outros especialistas e voltando-se o olhar estritamente para a proposta desta pesquisa, tem-se que o dispositivo de monitoramento aqui apresentado, se distribuído pelos ambientes mais vulneráveis da cidade, poderia contribuir, simultaneamente, para potencializar/alcançar diversos ODS, tais como:

- Redução da pobreza: auxiliando na proteção dos bens adquiridos ao longo da vida;
- Agricultura sustentável: permitindo melhor conhecimento da disponibilidade hídrica;
- Saúde e bem-estar: ampliando a percepção e relação da sociedade com o ambiente;
- Educação de qualidade: instrumentalizando aulas práticas sobre gestão hídrica;
- Saneamento: gerando dados para planejamento de despejos e tratamento de efluentes.
- Crescimento econômico: reduzindo o truncamento das vias e atividades comerciais;
- Infraestrutura: auxiliando no dimensionamento e identificação de setores prioritários;
- Redução das desigualdades: promovendo uma melhor equidade da área urbana;
- Cidades sustentáveis: elevando o nível de segurança urbana para cidadãos;
- Ação contra mudança global: apoiando estratégias de reação a eventos extremos;
- Vida terrestre: ampliando as perspectivas de delimitação de áreas de risco;
- Instituições eficazes: contribuindo com as defesas civis, estaduais e municipais;
- Parcerias e meios de implementação: articulando diferentes atores na gestão urbana.

Quanto a este último item – parcerias e meios de implementação – é preciso chamar atenção para o fato de que este trabalho manteve sua centralidade nos problemas urbanos, mais especificamente na cidade. Trata-se aqui de um contexto em que os problemas foram historicamente, socialmente e ambientalmente gestados nas cidades e pelas cidades. Ante ao exposto, embora não se tenha aqui a intenção de primar por exclusividade, superioridade, ou qualquer outra adjetivação distorcida; espera-se também que estes problemas possam ser resolvidos nas cidades e pelas próprias cidades.

A expressão que se fez opção – nas cidades e pelas cidades – não significa que, por exemplo, os problemas gestados em Vila Velha tenham que – de forma autônoma – serem resolvidos por Vila Velha. O que está sendo aqui colocado é que as cidades apresentam recursos



materiais e humanos capazes de auxiliá-las na busca por soluções e, o mais importante, compartilhamento de suas experiências positivas. Nesse sentido, é preciso considerar que:

A cidade reúne considerável número das chamadas profissões cultas, possibilitando o intercâmbio entre elas, sendo que a criação e a transmissão do conhecimento têm nela lugar privilegiado. Dessa forma, a cidade é um elemento impulsionador do desenvolvimento e aperfeiçoamento das técnicas. (Santos, 2021, p. 60)

Por essas razões, tais como apresentadas no parágrafo anterior, é que a proposta aqui colocada, no que se refere a potencialidade do monitoramento ambiental sustentado por TICs de baixo custo, se mostra tão relevante, pois, se por diversas razões, não se conhece tudo sobre uma cidade, ao menos o conhecimento sobre seu comportamento – neste caso hidrodinâmico – poderá trazer grande contribuição. Nesse aspecto, Santos (2021), coloca que

Quando pelo conhecimento das possibilidades e oscilações das condições naturais – consideradas em relação com a atividade humana desenvolvida nessa ou naquela área -, o homem imagina, elabora, codifica, impõe um sistema regulador, mediante o qual os danos sociais ou individuais são coletivamente absorvidos. (Santos, 2021, p. 100)

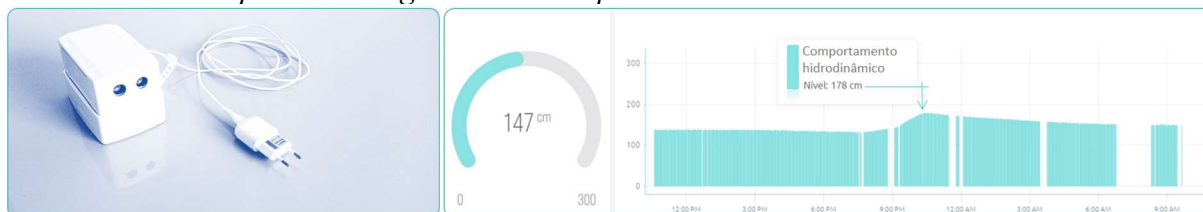
Segundo Santos (2021), “estamos, pois, diante de um novo sistema da natureza. Hoje, o homem não comanda as intempéries, mas tem conhecimento prévio de sua eclosão, tem condições de prever... as enchentes etc., e isso pode mudar suas consequências” (p. 101). Seguindo essa trajetória, entendendo a importância da inovação nas estratégias de monitoramento ambiental – ampliando possibilidades e reduzindo custos – é que pesquisas nesta área estão em pleno desenvolvimento.

Possivelmente, um olhar mais atento, permitiu que o leitor pudesse perceber que desafio aqui, no campo da Ciência e Tecnologia, não está em desenvolver um dispositivo, mas em reunir, a um só tempo, conhecimentos sobre diversas áreas, tais como eletrônica, computação, hidrologia, geografia, história, sociologia, dentre outras, sobretudo, gestão.

É com esse espírito de inovação e desafio que pesquisas semelhantes, puxadas por pesquisadores ainda isolados, estão em andamento; haja vista que a tão sonhada equipe multidisciplinar nem sempre é fácil de ser constituída. Nesse caminho, o dispositivo apresentado neste artigo está sendo aprimorado. Trata-se do DWL-5025 (Figura 17) que, por meio da telemetria hidrodinâmica, já deu sinais de que em breve estará servindo à sociedade; auxiliando na proteção das pessoas em seus territórios, zelando pelas suas vidas e seus patrimônios, ajudando a reduzir desigualdades em ambientes que carecem de equidade.

## Figura 17

*DWL-5025 e seus primeiros registros obtidos por meio de telemetria hidrodinâmica*



Acervo de imagens do autor

## 5 Conclusões

Lidar com problemas urbanos não é tarefa simples, haja vista que nem tudo está posto, dito, esclarecido, em especial quanto aos sistemas ambientais físicos que, como discutido neste artigo, afeta e é afetado por diversos outros sistemas que compõem o ambiente urbano. Contudo, o fato de não se poder conhecer um sistema em sua plenitude, não impede que suas

tendências de comportamento possam ser, ao menos, estimadas. Nesse sentido, o monitoramento ambiental por meio das TICs de baixo custo mostrou-se capaz de, num sítio complexo – Vila Velha (ES) – ser perfeitamente utilizável para compreensão hidrodinâmica.

Os resultados alcançados com esta pesquisa carregam valor mais qualitativo do que quantitativo, pois, através da ferramenta e das estratégias aqui utilizadas foi verificado que vários ODS podem ser, ainda que parcialmente, simultaneamente alcançados. O que se tem constatado é que as cidades constituem ambientes concentradores de muitos problemas, mas delas também estão sendo irradiadas importantes soluções. Assim, esta pesquisa atingiu seus objetivos delineados de forma direta, todavia, indiretamente, também serviu para lançar luz sobre a complexidade dos ambientes urbanos e os desafios a serem enfrentados para tornar as cidades mais seguras, resilientes e sustentáveis.

## 6. Referências

- Alciatore, D., & Histand, M. (2014). *Introdução à mecatrônica e aos sistemas de medições* (4. ed.). Bookman.
- Aquino, A. R., Paletta, F. C., & Almeida, J.R. (Org.). (2017). *Vulnerabilidade Ambiental*. São Paulo: Blucher.
- Arduino e Cia (2021). *Como usar a IDE Arduino no Linux com Raspberry Pi*. [Site]. <https://www.arduinoocia.com.br/como-usar-a-ide-arduino-no-linux-com-raspberry-pi/>
- Bueno, L. M. M. (2013). A adaptação da cidade às mudanças climáticas: Uma agenda de pesquisa e uma agenda política. In R. Ojima, & E. Marandola Junior (Org.). *Mudanças climáticas e as cidades: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social* (pp. 23-56). Blucher.
- Canholi, A.P. (2014). *Drenagem urbana e controle de enchentes* (2a ed.). Oficina de Textos.
- Capaz, R. S., & Horta Nogueira, L.A. (Org.). (2014). *Ciências Ambientais para Engenharia*. Elsevier.
- D'Ávila, W. P. S. (2018). Análise ambiental dos fatores de risco de inundação no Rio Marinho–Grande Vitória, Espírito Santo. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 14 (7), 74-89. DOI: <https://doi.org/10.22292/mas.v14i7.628>
- Google Earth® (2024). *Imagem aérea de Vila Velha: Recorte*. [Site]. <https://earth.google.com/web/@-20.35549639,-40.32474725,31.38976549a,2283.93862673d,35y,142.85580306h,0t,0r/data=OgMKATA>
- Marandola, Jr. As escalas da vulnerabilidade e as cidades: Interações trans e multiescalares entre a variabilidade e mudança climática. In R. Ojima, & E. Marandola Junior (Org.). *Mudanças climáticas e as cidades: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social* (pp. 93-114). Blucher.
- Mendonça, F., & Danni-Oliveira, I. M. (2007). *Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil*. Oficina de Textos.
- Mendonça, F., Deschamps, M., & Lima, M.D.C. A cidade e as mudanças globais: (Intensificação?) riscos e vulnerabilidades socioambientais na RMC – Região Metropolitana de Curitiba/PR. In R. Ojima, & E. Marandola Junior (Org.). *Mudanças climáticas e as cidades: Novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social* (pp. 129-162). Blucher.
- Menezes, L. M. S. (2020). *Desenvolvimento de sistema de monitoramento IoT para rios urbanos de fácil implantação e baixo custo* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de São Carlos]. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13895?show=full>

- Miguez, L., Di Gregório, L. T., & Veról, A.P. (2018). *Gestão de Riscos e Desastres Hidrológicos*. Elsevier.
- Monk, S. (2017). *Programação com Arduino: Começando com sketches*. (2. ed.). Bookman.
- Mota, W. N., de Miranda, R. F., Casaroli, D., Júnior, J. A., & Mesquita, M. (2016). Construção de um linígrafo de baixo custo com a plataforma Arduino. *Revista Engenharia na Agricultura-REVENG*, 24 (6), 523-530. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v24i6.699>
- Oliveira, J.T. (2008). *Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI* (2. ed.). Novatec.
- Oliveira, S. (2021). *História do Estado do Espírito Santo*. (3. ed.). Vitória: Secretaria de Estado da Cultura.
- Olivo, A. A., & Milioni, A. Z. (2003, 23 de novembro) *Alerta – um sistema para o auxílio à defesa civil para minimizar os danos decorrentes de cheias fluviais* [Artigo]. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=11854>
- ONU Brasil (2024). Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. [Site]. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>
- Pedrollo, M. C. R., Germano, A. D. O., Rodrigues, É., & Maduell, J. C. F. (2011, 27 de novembro). *Alerta hidrológico da bacia do rio Cai: Concepção e implantação do sistema* [Artigo]. In XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió. [https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/153/a1656edb0a8ebe3ac14bc2291c400dcb\\_0d5f8dd7917e589f29ef72b014cc303d.pdf](https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/153/a1656edb0a8ebe3ac14bc2291c400dcb_0d5f8dd7917e589f29ef72b014cc303d.pdf)
- Pereira, M. C.S. Duarte, B. P. S., Nogueira, F. F., da Silva, F. P., Gobatti, L., Leite, B. C. C., & Scarati, J. R. (2000, 21 de novembro). *Utilização de equipamentos de monitoramento de baixo custo para aplicação em corpos hídricos* [Artigo]. In Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/142/XXIV-SBRH0877-1-20210630-183824.pdf>
- Santos, M. (2021). *Metamorfozes do Espaço Habitado*. (6. ed.). Edusp. Reimpressão
- Silva, J. G. F., Cairo, C. T., Silva, B. F. P., & Ramos, H. D. A. (2012). Análise da frequência de chuvas no município de Vila Velha. *FACEVV*, 64-77. <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/516/1/artigo6-FACEVV.pdf>
- Tábua de marés. (2023). *Tabua de marés e previsão meteorológica de Vila Velha* [Site]. <https://tabuademares.com/br/espírito-santo/vila-velha>
- Teixeira, M. A. S., Rosa, R. V., & Sousa, A. L. (2017, 19 de outubro). *Monitoramento de nível de rio utilizando microcomputador, sensor ultrassônico e comunicação celular* [Artigo]. II Congresso Nacional de Inovação e Tecnologia. São Bento do Sul. [https://www.udesc.br/arquivos/ceplan/id\\_cpmenu/1593/6720170906VF\\_16681135209965\\_1593.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/ceplan/id_cpmenu/1593/6720170906VF_16681135209965_1593.pdf)
- Vargas, M. C. (2013). Águas revoltas: riscos, vulnerabilidade e adaptação à mudança climática global na gestão de recursos hídricos e do saneamento. Por uma política climática metropolitana na Baixada Santista. In R. Ojima, & E. Marandola Junior (Org.). *Mudanças climáticas e as cidades: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social* (pp. 75-89). Blucher.
- Zape, G. C. B. (2020). *Avaliação de desempenho hidráulico em projetos de sistemas de macrodrenagem: Estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Aribiri - Vila Velha/ES* [Trabalho de conclusão de curso, Instituto Federal do Espírito Santo]. <https://posinfra.vitoria.ifes.edu.br/index.php/producao-academica?start=6>