

Experimento de baixo custo: contribuição para coleta de dados e monitoramento para estudos climáticos

Low-cost experiment: contribution to data collection and monitoring for climate studies

Experimento de bajo costo: contribución a la recolección de datos y monitoreo para estudios climáticos

Joshua Kiko Abbate
Universidade Federal de Goiás (UFG)
joshuajka@discente.ufg.br

Valdemar Vicente Graciano Neto
Universidade Federal de Goiás (UFG)
valdemarneto@ufg.br

Juliana Ramalho Barros
Universidade Federal de Goiás (UFG)
juliana@ufg.br

Resumo

Estações meteorológicas são essenciais para o estudo da climatologia. Entretanto, elas possuem alto custo de aquisição e, em algumas localidades, apenas uma está disponível para cobertura de uma área geográfica extensa, o que traz imprecisão aos dados coletados quando consideramos as diferentes regiões da cidade. Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho foi a elaboração e avaliação de uma estação meteorológica que fornecesse leituras de seus sensores com base na Internet das Coisas em uma plataforma web de acesso livre, informando aos usuários como está o tempo no local onde a estação foi implantada no momento do acesso. A solução proposta (nomeada de IoTupã) possui baixo custo, potencial de implantação em diversas regiões, além de gerar e armazenar os dados para uso em ensino e pesquisa. Uma avaliação foi conduzida para avaliar a acurácia da medição realizada pela estação. Resultados preliminares indicam que a estação construída foi bem sucedida em seu propósito e apresenta acurácia satisfatória nas aferições realizadas em áreas rurais e urbanas da cidade de Porto Seguro - BA.

Abstract

Meteorological stations are essential for climatology studies. However, they have a high cost of acquisition and, in some places, only one is available to cover a wide geographical area, which brings inaccuracy to the gathered data when we take into account the different regions of the city. In that regard, the main goal of this paper was the development and evaluation of a meteorological station that could provide readings of its sensors based on the Internet of Things on a web platform with free access, notifying the users of how the climate in the venue is, where the station was set up at the time of the access. The proposed solution (named *IoTupã*) has low cost, potential of implementation in various regions, as well as it generates and stores the data to be used in teaching and research. An evaluation was conducted in order to evaluate the accuracy of the measurement performed by the station. Preliminary results indicate that the built station was successful in its purpose and presents satisfactory accuracy on the calibrations performed in rural and urban areas of the city of Porto Seguro - BA.

Resumen

Las estaciones meteorológicas son esenciales para el estudio de la climatología. Sin embargo, ellas tienen alto costo de adquisición y, en algunas ubicaciones, hay solamente una disponible para cobertura de un área geográfica extendida, lo que trae imprecisión a los datos recolectados si tenemos en cuenta las diferentes regiones de la ciudad. En ese sentido, el objetivo principal de este trabajo fue la elaboración y evaluación de una estación meteorológica que aportara lecturas de sus sensores con base en la *Internet* de las Cosas en una plataforma *Web* de libre acceso, informándoles a los usuarios cómo está el tiempo en el lugar donde fue instalada la estación a la hora del acceso. La solución propuesta (nombrada *IoTupã*) tiene bajo costo, potencial de implantación en varias regiones, además de generar y almacenar datos para uso en enseñanza e investigación. Una evaluación ha sido llevada a cabo para evaluar la precisión de la medición realizada por la estación. Resultados preliminares indican que la estación construida fue exitosa en su propósito y presenta precisión satisfactoria en las mediciones realizadas en áreas rurales y urbanas de la ciudad de Porto Seguro - BA.

Introdução

Os estudos sobre cidades são cada vez mais frequentes em todas as áreas do conhecimento. Tal interesse resulta da necessidade de conhecer e poder atuar sobre esse ambiente, visto que uma parcela cada vez maior da população vive nos sítios urbanos.

Segundo a Organização das Nações Unidas - ONU (2018), 55% da população mundial reside em áreas urbanas. No Brasil, dados do censo demográfico de 2010 revelam que esse percentual é de 84,4% (IBGE, 2010¹).

Juntamente com a expansão das cidades, surgem problemas ambientais, dentre os quais as alterações no clima em escala local, resultantes dos impactos da ocupação e das atividades humanas. Pode-se, então, falar em um clima urbano, no qual é possível notar diferenças nos elementos climáticos influenciadas por mudanças na cobertura do

¹ Os censos demográficos são realizados a cada 10 anos, contudo, foram utilizados os dados do Censo Demográfico de 2010 em razão de o censo de 2020 ter sido adiado (<https://censo2021.ibge.gov.br/>).

solo, que, conforme lembram Nascimento e Barros (2009), alteram os fluxos de matéria e energia sobre a atmosfera local.

A compreensão dos mecanismos que regem os climas das cidades, bem como o acompanhamento das condições meteorológicas de um determinado local em tempo real são essenciais para a vida de milhões de pessoas nos centros urbanos. Várias decisões podem ser tomadas com base em informações sobre o tempo e o clima em diferentes áreas das cidades, em curto ou longo prazo, seja no que se refere ao planejamento urbano, à mitigação de problemas ou ao acompanhamento das condições meteorológicas em determinados momentos.

Para a realização de estudos sobre o tempo e o clima, bem como para a previsão de curto prazo e os prognósticos de longo prazo, são necessários dados dos elementos climáticos, obtidos por meio de instrumentos de medição instalados em estações meteorológicas. As estações de grande porte fazem parte de redes oficiais de monitoramento, como é o caso do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, que, por sua vez, integra a rede mundial de estações da Organização Meteorológica Mundial - OMM.

Os principais elementos do clima são: radiação solar e insolação, temperatura do ar, umidade do ar, pressão atmosférica, vento, nebulosidade e precipitação (TORRES; MACHADO, 2011). O Sistema de Coleta e Distribuição de Dados Meteorológicos do INMET coleta e distribui dados desses elementos (temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, precipitação, entre outras variáveis), sendo dotado de estações de sondagem de ar superior (radiossonda); estações meteorológicas de superfície, operadas manualmente; e a maior rede de estações automáticas da América do Sul (INMET, 2021).

Os dados coletados pela referida rede são disponibilizados gratuitamente na página <https://portal.inmet.gov.br>, em tempo real no caso das estações automáticas, e com pouco tempo após a coleta no caso das estações convencionais. Entretanto, esses bancos de dados nem sempre são suficientes para se alcançar a compreensão da complexidade dos climas urbanos, tendo em vista que as diferenças nos tipos de usos e coberturas do solo observadas numa cidade resultam em respostas diversas com relação à absorção e reflexão de radiação solar e, conseqüentemente, na temperatura do ar, evaporação, convecção e precipitação.

Ademais, conforme advoga Monteiro (1990), para além das análises meteorológicas da atmosfera sobre as cidades ou complementarmente a isso, é preciso adentrar seu interior, apreendendo-a como um fato geográfico em si, e compreendê-la como um ambiente resultante das ações humanas em toda a sua dinâmica.

Para tal, faz-se necessário instrumental técnico adequado, preferencialmente de baixo custo, para que se possa cobrir o máximo possível de pontos dentro de uma cidade e, assim, perceber a diversidade do comportamento atmosférico nos ambientes urbanos.

Em geral, nem sempre as informações providas por estações meteorológicas das redes oficiais são entregues em tempo real, salvo no caso das estações automáticas, cujos dados habitualmente são disponibilizados a cada 15 ou 30 minutos, como é o caso das plataformas do INMET e do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, que oferecem acesso também a imagens de satélites e cartas de pressão, que auxiliam bastante na compreensão da dinâmica climática, embora mais para as escalas superiores.

Nesse sentido, a tecnologia denominada internet das coisas (*internet of things*, IoT) é uma possível solução para gerar informações das variáveis climáticas em tempo real, disponibilizando-as em uma plataforma web de livre acesso e armazenando-as em bancos de dados. Com a utilização de um software embarcado em uma placa microcontroladora que tenha acesso à internet, é possível acoplar sensores de umidade, temperatura e precipitação que permitam a coleta de dados meteorológicos, bem como a sua aquisição em tempo real.

Diante disso, este artigo pretende apontar a contribuição de um projeto cujo objetivo principal foi desenvolver uma solução tecnológica com base em sensores e internet das coisas a fim de oferecer um serviço gratuito para geração de dados e acesso às condições meteorológicas de uma dada localidade. Tais dados podem ser empregados para o conhecimento das condições atmosféricas em tempo real ou em pesquisas sobre o clima urbano.

Para a tal, concebeu-se uma estação meteorológica IoT de baixo custo, que foi testada durante uma semana a fim de averiguar sua eficácia. Resultados preliminares indicaram que a estação criada foi bem sucedida na precisão da aferição e na coleta dos dados na região, apontando seu potencial, tanto para estudos do clima urbano como para uso educacional. Ressalta-se ainda que, devido à pandemia e todas as restrições que ela trouxe, os testes e a implementação do projeto precisaram ser feitos em local diferente do planejamento inicial, não sendo realizados em Goiânia-GO mas sim em Porto Seguro - BA.

Clima urbano, dados meteorológicos e Internet das Coisas

As abordagens sobre clima urbano na Geografia possuem o propósito de avaliar o que Monteiro (1976, p. 53) aponta como sendo “o papel da urbanização na criação de um ambiente climático especial”. É fato que as condições meteorológicas que ocorrem na cidade resultam de mecanismos de circulação regionais, contudo, suas repercussões derivam das condições locais.

Em razão disso é que Monteiro (1990) aponta a necessidade de adentrar o interior das cidades a fim de tomar dados e analisá-las como fatos geográficos em toda a sua estrutura e complexidade. Para isso, chama atenção para a importância do instrumental de medição que, na ausência de uma vasta rede de postos meteorológicos, pode ser constituído por equipamentos mais simples e de menor custo.

Nas últimas décadas, as pesquisas sobre o clima urbano se multiplicaram e em todas fica evidente a importância da geração de dados, sejam eles de superfície ou de imagens de satélites. Danni (1980; 1987), Sampaio (1981), Sezerino e Monteiro (1990), Tarifa e Armani (2001), Barbosa (2005), Nascimento e Barros (2009), Amorim et al. (2009) são alguns dos trabalhos voltados aos estudos do clima de cidades de grande e médio porte.

Atualmente, além da possibilidade de adquirir equipamentos mais simples com menor valor, é possível construir instrumentos de medição a custo bastante reduzido e, ainda, organizar e disponibilizar os dados gerados em plataformas *web* gratuitas. Com isso, torna-se viável cobrir um maior número de pontos na cidade e, assim, contemplar as mais variadas feições existentes no ambiente urbano.

Uma estação meteorológica completa possui diversos instrumentos que realizam a medição dos elementos atmosféricos e possibilitam, assim, realizar tanto a previsão do tempo quanto o monitoramento climático.

Nesse contexto, instrumentos de medição baseados na Internet das Coisas (IoT) surgem com potencial para auxiliar nessa atividade. IoT consiste em um paradigma de comunicação recente no qual os objetos da vida cotidiana serão equipados com elementos de hardware e software, isto é, instrumentos físicos, como sensores e placas de processamento e conexão à internet, bem como programas e elementos lógicos de rede, que os tornarão capazes de interagirem com o ambiente, comunicarem entre si e com os usuários, e conectarem-se à Internet (ATZORI *et al.*, 2010).

Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar e que são comuns em aplicações IoT. As placas Arduino são capazes de ler entradas, que podem ser a luz incidindo em um sensor ou um dedo pressionando em um botão, e transformá-las em saída, por exemplo, ativando um motor, ligando um LED ou publicando algo *online*. Um conjunto de instruções pode ser inserido na placa para guiar as ações desempenhadas por ela. Para fazer isso, utiliza-se a linguagem de programação Arduino (baseada em Wiring) e o Software Arduino (que é o ambiente de desenvolvimento).

As placas Arduino (ou baseadas na plataforma Arduino) são o principal componente do circuito, responsável por armazenar o algoritmo de monitoramento, processar dados, acionar eventuais atuadores, receber medições de sensores, estabelecer a conexão com a internet, estabelecer conexão com o banco de dados e acoplar demais instrumentos que possam ser úteis à execução do projeto. A Figura 1 mostra um exemplo de uma placa Wemos D1, que é um exemplo típico de placa IoT.

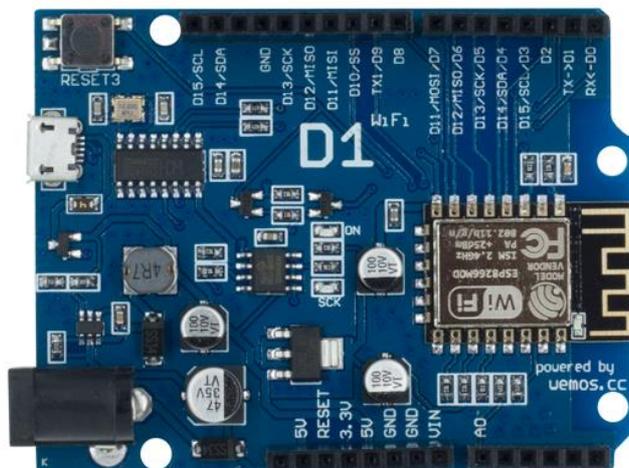


Figura 1: Placa Wemos D1 Wifi ESP8266.

Fonte: <https://bityli.com/f3mNT>

Trabalhos correlatos

Existem vários trabalhos na linha de monitoramento climático com estações meteorológicas de baixo custo. Quase todos utilizam a plataforma Arduino como a base do projeto. Nesta seção vamos discorrer sobre os principais trabalhos correlatos encontrados.

No trabalho de Torres et al. (2015), os autores têm como foco demonstrar a implementação e o funcionamento de uma estação meteorológica automática de baixo custo utilizando o Arduino Uno. O trabalho compara os dados coletados com aqueles coletados pelas estações convencionais utilizadas pelo INMET. O objetivo foi validar a acurácia da aferição dos dados através do protótipo de baixo custo, não se preocupando em disponibilizar essas leituras em uma plataforma para que possa ser acessada em tempo real e nem armazenar os registros em um banco de dados.

No trabalho de Sousa et al (2015), os autores têm como objetivo apresentar a montagem e a calibração de uma estação meteorológica experimental a partir da utilização de materiais de baixo custo. Com a estação montada e em funcionamento, eles utilizaram os dados aferidos para comparar com os medidos pela estação da Infraero em um intervalo de tempo para verificar a confiabilidade dos dados, margem de erro e aferir o custo-benefício do projeto. O trabalho em questão é bem similar ao apresentado no parágrafo anterior, mas não possui armazenamento desses dados e também não possui uma plataforma aberta para usuários acessarem e verificarem a condição meteorológica em tempo real como o trabalho elaborado aqui.

No trabalho de De Araujo Elias et al (2014), os autores apresentam um sistema denominado ArdWeather, que é composto por uma estação meteorológica de baixo custo feita com Arduino Uno e uma aplicação web que é utilizada para exibir os dados aferidos pela estação desenvolvida e eventuais outras estações que possam ser acopladas ao sistema. Este trabalho é o que mais se assemelha ao que foi desenvolvido e relatado aqui. Entretanto, no ArdWeather, a plataforma web é uma ferramenta utilizada para fornecer relatórios em que o usuário estabelece o intervalo de tempo que deseja analisar, não apresentando, portanto, os dados com intervalos de tempo curtos como o nosso, o que só ocorre em caso de alertas de chuvas fortes via postagem na rede social Twitter.

No trabalho de Da Silva et al (2016), os autores também possuem como objetivo desenvolver uma estação meteorológica automática de baixo custo, implementando junto ao projeto um banco de dados para que, através dos dados recolhidos por sensores espalhados por uma área, estes sejam armazenados e comparados com as medições das principais estações meteorológicas comerciais disponíveis no mercado. A preocupação principal dos autores é verificar a margem de erro entre os valores colhidos em uma estação de baixo custo e estações convencionais, disponibilizando uma plataforma web para que pessoas possam acessar relatórios da estação de baixo custo em um certo período, sem se preocupar com a disponibilização em tempo real como no caso deste projeto.

No trabalho de Kodali et al (2016), não existe uma preocupação em colher os dados através da própria placa acoplando sensores, mas apenas em reproduzir dados colhidos em nuvem para uma tela display apresentando as condições em tempo real de determinada estação, sem também se preocupar com a criação de um banco de dados para o armazenamento ou a criação de uma plataforma web para acesso remoto de qualquer dispositivo a essas informações.

O trabalho apresentado aqui relata a criação de um sistema de monitoramento de clima de baixo custo programado na plataforma Arduino que recupera a condição meteorológica de qualquer local, a partir do gerenciamento de banco de dados em nuvem e este sistema mostra a saída em um display. O objetivo principal é visualizar as condições meteorológicas de qualquer local permitindo acessar os dados atuais de qualquer estação através de um display led acoplado à placa.

Os diferenciais do trabalho incluem (i) o custo-benefício da miniestação (custo total menor que R\$ 100,00 em valores atuais), (ii) o monitoramento em tempo real, uma vez que é coletado a cada cinco minutos, (iii) a entrega da leitura dos sensores em uma página web de livre acesso, e (iv) o armazenamento dessas informações em um banco de dados que possa ser usado para estudos de séries temporais da climatologia urbana em microambientes. O Quadro 1 mostra a comparação dos trabalhos correlatos com o trabalho apresentado neste artigo de acordo com os critérios supracitados.

Quadro 1: Comparação com Trabalhos Correlatos.

<i>Estudo</i>	<i>Baixo custo</i>	<i>Monitoramento em tempo real</i>	<i>Página Web de livre acesso</i>	<i>Armazenamento banco de dados</i>
Torres et al (2015)	Sim	Não	Não	Não
Sousa et al (2015)	Sim	Não	Não	Não
De Araujo Elias et al (2014)	Sim	Não	Sim	Sim
Kodali et al (2016)	Não	Sim	Sim	Não
<i>IoTupã</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>	<i>Sim</i>

Devido ao período de pandemia da Covid-19, ainda não houve a oportunidade de conferir a acurácia dos dados em comparação com aqueles coletados em estações meteorológicas convencionais. Entretanto, ressaltamos as potencialidades da estação apresentada para fomentar estudos sobre microclima e climatologia urbanos que podem ser investigados mais a fundo em outros estudos vindouros. Ademais, vislumbra-se o potencial de aplicação até mesmo para a comunidade universitária, como é o caso dos câmpus da UFG de Goiânia e demais pontos de modo que a informação fique disponível para os discentes, docentes, técnicos e demais membros da comunidade universitária para prepararem-se adequadamente com agasalhos ou guarda-chuvas quando forem de outras regiões da cidade ao campus.

Metodologia

Para a condução deste estudo, optou-se pelo uso da *Design Science Research* (DSR). DSR tem se destacado como um dos métodos de pesquisa adotados para solução de problemas por meio da elaboração e avaliação de artefatos (PEFFERS et al., 2007). Sob tal prisma, DSR configura-se como uma metodologia útil e complementar aos métodos empíricos clássicos utilizados para validar hipóteses levantadas sobre um fenômeno observado (WOHLIN et al., 2003). DSR apoia-se na premissa de que, para criar soluções inovadoras, é necessário avançar o estado da arte. Logo, a aplicação sistemática de DSR para solução de um problema produz avanço no estado da arte como efeito colateral da criação de artefatos inovadores.

Pela sua natureza aplicada, DSR tem sido utilizada com sucesso em pesquisas de Sistemas de Informação e Engenharia de Software. Dado o caráter exploratório e descritivo desta pesquisa e o objetivo primário descrito (desenvolver um modelo tecnológico e implementar uma estação de baixo custo para monitoramento e entrega em tempo real de dados meteorológicos com base em tecnologias IoT), optou-se por utilizar DSR para a condução desta pesquisa.

O processo de condução da pesquisa com DSR é aderente ao método científico convencional. O processo é composto por seis atividades fundamentais, executadas, preferencialmente, de maneira sequencial com dois pontos de aprimoramento dos resultados obtidos que sistematizam o processo do fazer científico e incluem as seguintes atividades: (i) identificar o problema, (ii) definir o objetivo, (iii) projetar e desenvolver o artefato, (iv) demonstrar a aplicabilidade, (v) avaliar o artefato, e (vi) comunicar os resultados.

De fato, os produtos das atividades (i) e (ii) já são matéria da proposição deste projeto. O problema, já identificado e enunciado na introdução, está associado à escassez de dados meteorológicos que permitam estudar o clima dos ambientes urbanos, na escala local, intra-urbana, ainda que, em seguida, se busque a articulação com as escalas regional e zonal.

A diferença nas condições meteorológicas de um lugar para outro e a falta de um serviço que possa prover tais condições em tempo real dificulta os estudos da climatologia urbana, mas também o acesso a informações importantes para a vida diária dos cidadãos. Diante disso, o objetivo estabelecido para a pesquisa foi: desenvolver um modelo tecnológico e implementação de monitoramento e entrega de dados de condições meteorológicas em tempo real com base em tecnologias IoT.

Após a revisão da literatura, para justificar adequadamente o problema de pesquisa identificado, seguiu-se para atividade 2 (Projetar e desenvolver o artefato). O artefato desenvolvido foi uma página web em PHP² conectada ao banco de dados que entrega, em tempo real, dados atmosféricos coletados via sensores IoT. Como consequência desse primeiro artefato, foram produzidos outros dispositivos: (i) a especificação de requisitos de sistemas e software do componente; (ii) os modelos arquiteturais da aplicação; (iii) o código do aplicativo para plataforma Android (para ser aderente à prerrogativa de baixo custo, uma vez que aparelhos celulares com Android tendem a ter um custo de aquisição mais baixo que aqueles com iOS da Apple); e (iv) o código de controle dos sensores IoT.

Na atividade 3 (Demonstrar a aplicabilidade), o componente de software passou por uma etapa de análise e demonstração da aplicabilidade, na qual foi testada a coleta dos dados das condições meteorológicas. Na atividade 4 (Avaliação do artefato), foi aplicada a metodologia de pesquisa “Estudo de Caso” para demonstrar, por meio da instância executável do artefato implantado no domínio de aplicação, que atingiu seu objetivo preestabelecido. Em seguida, realizou-se a Atividade 5 (Comunicação dos resultados), apresentada na seção de resultados e discussões deste artigo.

A partir dos resultados obtidos nas atividades de avaliação e comunicação dos resultados (Atividades 4 e 5, respectivamente), tanto o objetivo quanto o artefato

² PHP é uma linguagem de programação que permite que um *website* comporte-se como um sistema *web* dotado de capacidade de processamento, isto é, ao invés de apenas apresentar informações estaticamente, ele torna-se capaz de ter elementos de processamento, tais como coleta de dados, cálculos, processamento de formulários e comunicação de dados.

desenvolvido puderam ser refinados e aprimorados em novas pesquisas e estudos. Dessa forma, espera-se garantir um progresso contínuo dos resultados alcançados. As seções seguintes apresentam detalhes da condução das etapas de Projeto do Artefato, Avaliação e Comunicação dos Resultados.

Desenvolvimento do projeto IoTupã

A miniestação meteorológica foi nomeada de IoTupã. O nome é uma associação entre a base tecnológica de sua concepção (IoT, de *Internet of Things*) e Tupã, uma entidade da mitologia e panteão tupi-guaranis conhecida como “O Espírito do Trovão”, ou seja, relacionada a uma manifestação de fenômeno atmosférico. IoTupã entrega informações relativas à temperatura, umidade relativa do ar e precipitação. Um servidor de banco de dados Mysql foi utilizado para o armazenamento de dados, com o propósito da ferramenta ser utilizada como meio de estudo acadêmico. Uma página web PHP foi criada para disponibilizar a visualização da última leitura dos dados em tempo real para qualquer usuário com acesso a internet.

O intuito do projeto IoTupã foi desenvolver uma estação meteorológica de baixo custo. Enquanto uma estação meteorológica profissional possui um valor em torno de U\$ 1.000,00 (mil dólares), a estação construída para este projeto teve valor de aquisição de aproximadamente R\$ 74,70 (setenta e quatro reais e setenta centavos) no ano de 2020. Por isso, optou-se pela placa Arduino Wemos D1, que dispensava custos adicionais para ter a capacidade de se conectar à internet.

Dentre os sensores escolheu-se aqueles que forneceriam informações climáticas mais relevantes e mais comumente utilizados nos estudos de climatologia. A estação construída possui sensores de chuva, umidade e temperatura acoplados para medição dessas variáveis climáticas no ambiente. Esta placa está conectada a uma rede Wifi e a um servidor que possui um banco de dados para o armazenamento das leituras, guardando as datas e horários das medições e os respectivos valores lidos.

Para a instalação do hardware no ambiente de aferição, foi necessário propor um modo de dispor os componentes para que as medições não sofressem interferências significativas. Com exceção do sensor de chuva, todos os demais componentes deveriam estar protegidos, pois a chuva poderia danificar e comprometer o seu funcionamento. Desta forma, o sensor de chuva foi colocado em cima do telhado e os demais componentes abaixo do telhado sem nenhum outro *case* de proteção para evitar que as medições de temperatura e umidade estivessem submetidas a variações em relação ao ambiente externo. Na Figura 2, é possível apreciar como o circuito foi montado. Os leds foram adicionados para dar feedback em relação ao funcionamento da placa, indicando conexão à rede wifi (verde), ao banco de dados (amarelo), e o *led* vermelho, que pisca toda vez que um novo registro é enviado para o banco de dados.



Figura 3: Página web para visualização dos dados
Fonte: Arquivo pessoal

Avaliação e Resultados

O experimento foi realizado em duas coletas distintas mensurando um conjunto específico de variáveis. Todas as medições obtidas são da cidade de Porto Seguro, na Bahia.

Na primeira coleta, a miniestação meteorológica do projeto IoTupã foi implantada durante uma semana em um local no espaço urbano, coletando cerca de 6.450 registros, a uma frequência aproximada de um registro a cada 1 minuto. Em cada registro, constava a data e hora em que o registro foi cadastrado no banco, a leitura do sensor de chuva, a leitura da temperatura, a leitura da umidade relativa do ar e a constatação do algoritmo se o tempo se encontrava “chovendo” ou “sem chuva”. Na segunda coleta, IoTupã foi implantada, também durante uma semana, em um local na zona rural de Porto Seguro/BA, coletando cerca de 620 registros, a uma frequência aproximada de um registro a cada 10 minutos, nesta segunda coleta os campos da data foram subdivididos em ano, mês, dia, hora, minuto e segundo. Um vídeo ilustrativo está disponível com explicações a respeito da estação implantada na segunda coleta³.

Os resultados estão disponíveis para acesso em um link externo⁴. Durante essa primeira semana de testes, o sensor de chuva não se mostrou tão eficiente quanto esperado e foi necessário realizar ajustes no seu posicionamento para evitar resultados

³ <https://www.youtube.com/watch?v=UPqg5-APY44>

⁴ Website com resultados coletados no projeto: <https://ww2.inf.ufg.br/insight/temponocampus/>

imprecisos. A principal barreira encontrada foram as gotículas de água que ficam em sua superfície mesmo quando não estava mais chovendo. Por isso, foi necessário implantar o sensor de tal modo que ficasse inclinado a um ângulo de 45 graus para baixo, para que as gotículas escorressem, não alterando a detecção precisa do tempo em cada momento.

Após esses ajustes no posicionamento e no parâmetro do algoritmo para constatar a existência ou não de chuva através dos valores registrados nos sensores, o funcionamento da estação se deu de maneira muito satisfatória com margens de erro muito pequenas em relação a informações de sites meteorológicos, como o Climatempo⁵. Pode-se constatar cerca de três pontos de margem de erro para mais ou para menos na leitura do percentual de umidade entre sites que trazem informações meteorológicas e a miniestação de baixo custo desenvolvida. Em relação à temperatura, a variação se deu em cerca de menos de um grau Celsius. Entretanto, vale ressaltar que tanto o sensor de temperatura quanto o de umidade ficaram alojados em um local coberto, sem que a chuva pudesse molhá-los, o que pode ter tido influência na pequena variação apresentada.

A Figura 4 apresenta os registros recolhidos durante a primeira fase de testes e armazenados no banco de dados durante o período em que a estação ficou em funcionamento na zona urbana da cidade de Porto Seguro - BA.

Data	Temperatura	Umidade	Tempo	Sensor
2020-08-12 11:08:25	24	95	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:09:16	24.4	95	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:10:07	24.4	95	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:10:58	24.4	95	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:11:49	24.5	95	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:12:40	24.4	94	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:16:52	24.6	95	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:19:29	25.1	95	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:20:20	25.1	94	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:21:52	25.2	94	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:22:43	25.1	94	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:23:35	25	94	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:24:26	24.9	94	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:25:17	24.9	95	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:26:08	24.8	95	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:26:59	24.8	95	Sem chuva	1024
2020-08-12 11:27:50	24.8	95	Sem chuva	1024

Figura 4: Dados recolhidos durante a primeira fase de testes.

A Figura 5 mostra uma amostra dos registros recolhidos durante a segunda fase de testes e armazenados no banco de dados durante o período em que a estação ficou em funcionamento na zona rural da cidade de Porto Seguro - BA. A Figura 6 mostra o mapa via satélite do trajeto entre a zona urbana e o local das aferições distantes cerca de 17 km, ambas as áreas destacadas em vermelho.

⁵ Destaca-se que tal comparação foi realizada na época da primeira coleta e de modo manual. Tal comparação não foi realizada na segunda coleta, uma vez que portais como Climatempo não oferecem dados meteorológicos de regiões da zona rural.

Dia	Mes	Ano	Hora	Minuto	Segundo	Sensor	Temperatura	Tempo	Umidade
22	7	2021	11	3	14	1	29.8	Sem chuva	50
22	7	2021	11	13	18	1	33.9	Sem chuva	43.2
22	7	2021	11	23	20	1	30.8	Sem chuva	50.7
22	7	2021	11	33	22	1	34.2	Sem chuva	43.4
22	7	2021	11	43	25	1	33.2	Sem chuva	45.1
23	7	2021	9	6	9	1	24.3	Sem chuva	66
23	7	2021	9	16	11	1	25.2	Sem chuva	64.9
23	7	2021	9	26	14	1	26.6	Sem chuva	60
23	7	2021	9	36	16	1	28.2	Sem chuva	55.6
23	7	2021	9	46	18	1	27.1	Sem chuva	55.8
23	7	2021	9	56	21	1	29.6	Sem chuva	51.2
23	7	2021	10	6	24	1	32.5	Sem chuva	43.9
23	7	2021	10	16	26	1	28.9	Sem chuva	50.6
23	7	2021	10	26	29	1	31.4	Sem chuva	46.2
23	7	2021	10	36	32	1	33	Sem chuva	39.7
23	7	2021	10	46	33	1	30	Sem chuva	44.9
23	7	2021	10	56	37	1	29.5	Sem chuva	48.5

Figura 5: Dados registrados durante a segunda fase de testes.

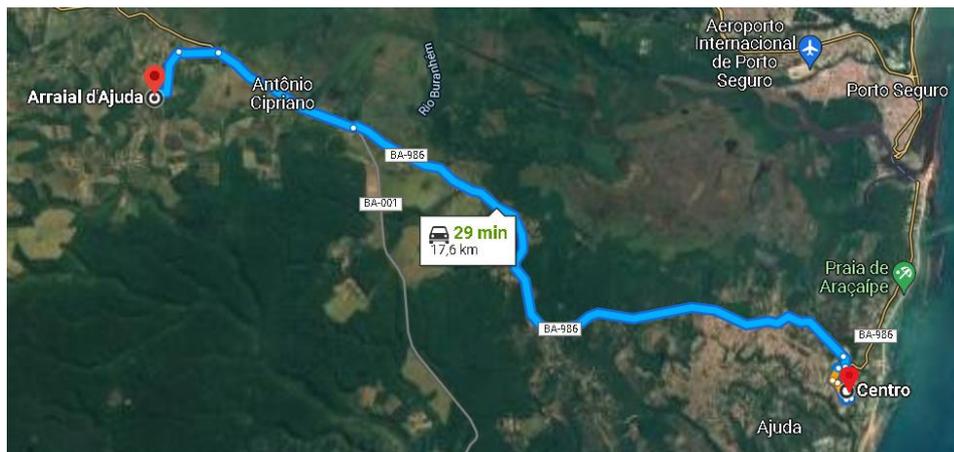


Figura 6: Mapa via satélite entre pontos de medição (marcados em vermelho) dos sensores.

Discussão

Visto o seu baixo custo e assertividade satisfatória nos dados coletados pelos sensores, considera-se que o IoTupã apresenta elevado potencial de utilização, tanto para fins educacionais quanto para a geração de dados a serem utilizados em pesquisas sobre clima urbano. Além disso, pode-se estender as funcionalidades do projeto, sendo possível adaptá-lo para o controle de um sistema de irrigação, um sistema de ventilação, um sistema de aquecimento, um sistema de resfriamento, ou qualquer acionamento de

dispositivo que seja feito baseado na temperatura, umidade do ar ou verificando se existe ou não a presença de chuva no ambiente.

O estudo é também aderente a outros estudos anteriores da Geografia (BARROS et al., 2012) que atestam as potencialidades dos bancos de dados como um poderoso suporte para o acúmulo de dados históricos que permitem uma investigação mais precisa no contexto de microclima urbano e climatologia.

Considerações finais

Este artigo apresentou a concepção e avaliação experimental de uma estação meteorológica de baixo custo construída com base na tecnologia da Internet das Coisas no contexto do projeto IoTupã. Segundo o INMET (2015), existem apenas 400 estações meteorológicas completas no país, espalhadas de maneira desproporcional no território brasileiro. O volume de dados referentes às variáveis climáticas coletadas no Brasil é baixo. Por isso, algumas áreas ficam subordinadas às informações da estação meteorológica mais próxima, que nem sempre apresenta dados assertivos devido à grande área coberta. Diante disso, a criação de soluções tecnológicas para a popularização e a automatização dos equipamentos de coleta de dados faz-se necessária.

O custo-benefício do projeto proposto torna viável sua instalação em pequenas propriedades rurais ou até mesmo em diferentes pontos de áreas urbanas, contribuindo, portanto, para a melhoria da qualidade da visualização das condições climáticas em microambientes, que é de suma importância para diversas atividades de pesquisa e ensino da Geografia. Ademais, o projeto pode auxiliar no provimento de informações meteorológicas para as populações urbanas, para que tenham informações mais precisas do tempo nas diversas regiões da cidade e para que o histórico de dados armazenados possibilite desenhar uma melhor compreensão do clima urbano de cada região ao longo do tempo.

Como trabalho futuro, pretende-se integrar o serviço de entrega de dados meteorológicos em tempo real à aplicação “Minha UFG” para que todos os membros da comunidade acadêmica da Universidade Federal de Goiás possam ser beneficiados, uma vez que o campus Samambaia é substancialmente distante de outras regiões da cidade e costuma apresentar condições meteorológicas distintas de outras regiões num mesmo momento do dia. Um outro trabalho futuro é o incremento de novos sensores para que possam ser captadas mais informações sobre as variáveis climáticas de interesse, como um anemômetro, por exemplo.

O projeto alinha-se ao tema de cidades inteligentes, uma vez que soluções de IoT para ambientes acadêmicos conhecida como campus inteligentes, estão em comum acordo com a perspectiva de cidades inteligentes, já que podemos considerar o campus inteligente como um subsistema do macrossistema Cidade Inteligente.

Além de estudos de clima urbano, o equipamento mostra-se útil ao monitoramento climático e a prover a população de informações em tempo real acerca das condições atmosféricas em diferentes pontos da cidade.

O trabalho possui, portanto, potencial para contribuir não apenas para o estudo de clima urbano, mas também para a socialização do acesso a informações meteorológicas em tempo real por parte da população, expandindo os benefícios do conhecimento construído na universidade para além de seus muros.

Referências

- AHRENS, C. D. *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*. Cengage Learning, 2012.
- AMORIM, M.C.C.T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; SANT'ANNA NETO, J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). *Confins* [Online], 7-2009, 16p.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G.. The internet of things: A survey. *Computer networks*, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.
- Arduino.cc. Arduino 2010 . Disponível em:
<<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> >. Acesso em: 19 agosto 2020.>
- BARBOSA, R. V. R.. *Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: estudos em microclimas de Macéio (AL)*. São Carlos, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BARROS, J. R. ; NASCIMENTO, D. T. F ; GRACIANO NETO, V. V. . Potencialidades do sistema de banco de dados para a ciência geográfica: experiência de sua aplicação no projeto “Cidades e práticas espaciais”: diferentes dinâmicas em metrópoles brasileiras nacionais e regionais.. In: Maria Geralda Almeida; Karla Anniely Teixeira; Tadeu Alencar Arrais. (Org.). *Metrópoles: teoria e pesquisa sobre a dinâmica metropolitana*. 1ed. Goiânia: Cãnone Editorial, 2012, v. 1, p. 61-72.
- DANNI, I. M. *Aspectos temporo-espaciais da temperatura e umidade relativa de Porto Alegre em Janeiro de 1982: contribuição ao estudo do clima urbano*. São Paulo, 1987. 129p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- DA SILVA, Angelo Cesar Mendes et al. Estação Meteorológica Automática de Baixo Custo-Low Cost Automatic Meteorological Station. Multiverso: *Revista Eletrônica do Campus Juiz de Fora-IF Sudeste MG*, v. 1, n. 1, p. 46-56, 2016.
- DE ARAUJO ELIAS, Alexandre Artimos et al. *ArdWeather: Uma estação meteorológica baseada no Arduino e em Web Services RESTful*. In: PSHEWC 2014. p. 44-48.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Cidades: seção Panorama, Brasil, População*, 2010. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 06 jun. 2021.

- INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Sobre o INMET*. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/sobre>. Acesso em: 22 mai 2021.
- KODALI, Ravi Kishore et al. An IoT based weather information prototype using WeMos. In: *2016 2nd IC3I*. IEEE, 2016. p. 612-616.
- LANDSBERG, H. E. *The climate urban*. New York: Academic Press, 1981.
- LOMBARDO, Magda Adelaide. *Ilha de calor da metrópole paulistana*. 1984. 210f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.
- LOMBARDO, Magda Adelaide. *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985.
- MONTEIRO, C. A. de F. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil. *GEOSUL - Revista do Departamento de Geociências*. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, n. 9, p. 7-19, jan./jul. 1990.
- NASCIMENTO, D. T. F.; BARROS, J. R. Identificação de ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto: estudo de caso no município de Goiânia - GO/2001. *Boletim Goiano de Geografia*. Goiânia, v. 29, n. 1, p. 199-134, jan./jul. 2009.
- PEFFERS, K. et al. (2007). “A Design Science Research Methodology for Information Systems Research”. *Journal of Management Information System* 24, 3, pp. 45-77.
- SAMPAIO, A. H. L. Correlações entre uso do solo e ilha de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador. São Paulo, 1981. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- SEZERINO, M. L.; MONTEIRO, C. A. de F. O campo térmico na cidade de Florianópolis: primeiros experimentos. *GEOSUL - Revista do Departamento de Geociências*. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, n. 9, p. 20-60, jan./jul. 1990.
- SOUSA, Romário Rosa et al. Estação meteorológica experimental de baixo custo. *Geo UERJ*, n. 27, p. 80-97, 2015.
- TARIFA, J. R.; AZEVEDO, T. R. *Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática*. São Paulo: FFLCH/ USP, 2001.
- TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. de O. *Introdução à Climatologia*. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- TORRES, João Delfino et al. Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados. *Scientia Plena*, v. 11, n. 2, 2015.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). The speed of urbanization around the world. *Population Facts*. Dez. 2018.

Disponível em: https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-PopFacts_2018-1.pdf . Acesso em: 06 jun. 2021.

WOHLIN, C. et al. (2003). “Empirical research methods in software engineering”. In: Conradi R., Wang A.I. (eds) *Empirical Methods and Studies in Software Engineering*. Lecture Notes in Computer Science, vol 2765. Springer, Berlin, Heidelberg.

Joshua Kiko Abbate

Graduando em Sistemas de Informação pelo Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás e técnico em informática pelo Instituto Federal da Bahia. Atualmente atua como desenvolvedor de software na LG Lugar de Gente. Foi vencedor na categoria negócios da 6ª Olimpíada de Empreendedorismo Universitário do estado de Goiás promovido pela UFG em 2019 e foi eleito o aluno destaque do curso bacharel em Sistemas de Informação (INF/UFG) no semestre letivo 2019/2.

Valdemar Vicente Graciano Neto

Professor efetivo do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás. Recebeu seu título de doutor em dupla titulação pela Universidade de São Paulo, Brasil e pela Université Bretagne-Sud, França, em 2018. É coautor de mais de 80 artigos revisados por pares, além de ter co-organizado eventos científicos nacionais e internacionais, como o Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI), Workshop on Modeling and Simulation of Software-Intensive Systems (MSSiS) e o Workshop on Blockchain-Based Software Architectures (BlockArch na conferência ICISA). Atua como revisor de veículos importantes e é membro da Sociedade Brasileira de Computação.

Juliana Ramalho Barros é Geógrafa e Doutora em Geografia (UNESP/Rio Claro). Professora Associada no Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás. Docente PPGE/UFG. Coordenadora do Laboratório de Geografia, Imaginário, Criatividade e Arte - LAGICRIARTE/IESA/UFG.

Recebido para publicação em outubro de 2021.
Aprovado para publicação em fevereiro de 2022.