

Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais - PPGCTA

FELIPE DIEGO DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE IoT (*INTERNET OF THINGS*) PARA CRIAÇÃO DE UM
PROTÓTIPO *OPEN-SOURCE* PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL:
ESTUDO DE CASO NO RIO BURANHÉM**

Orientador: Prof. Dr. Orlando Ernesto Jorquera Cortés

PORTO SEGURO - BA
OUTUBRO -2019

Felipe Diego de Oliveira

**APLICAÇÃO DE IoT (*INTERNET OF THINGS*) PARA CRIAÇÃO DE UM
PROTÓTIPO *OPEN-SOURCE* PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL:
ESTUDO DE CASO NO RIO BURANHÉM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Sul da Bahia e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais para obtenção do Título de Mestre em Ciências e Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Ernesto Jorquera Cortés

PORTO SEGURO - BA

OUTUBRO –2019

Dados internacionais de catalogação na publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul da Bahia - Sistema de Bibliotecas

O48a Oliveira, Felipe Diego de, 1982 -

Aplicação de IoT (internet of things) para a criação de um protótipo open-source para monitoramento ambiental: estudo de caso no Rio Buranhém. / Felipe Diego de Oliveira. – Porto Seguro, 2020.
51 p.

Orientador: Orlando Ernesto Jorquera Cortés
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais. Campus Sosígenes Costa.

1. Internet das Coisas. 2. Open-Source. 3. Monitoramento Ambiental. 4. Rio Buranhém. 5. Wireless I. Cortés, Orlando Ernesto Jorquera. II. Título.

CDD: 006.22

Universidade Federal do Sul da Bahia
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais
Centro de Formação em Ciências Ambientais

Ata da Defesa Pública de Dissertação de Mestrado

Aos 30 dias do mês de outubro do ano de 2019, às 10:00h, na sala Taperapuã 2, Campus Sosígenes Costa, reuniram-se os membros da banca examinadora composta pelos professores: Orlando Ernesto Jorquera Cortes (Orientador e Presidente da banca), Bilzã Marques de Araújo (membro interno) Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes (membro interno) e Roberto Muhájr Rahnemay Rabbani (membro interno) a fim de arguirm o mestrando **Felipe Diego de Oliveira**, cujo trabalho intitula-se “Aplicação de IoT (Internet of Things) Para Criação de um Protótipo Open-Source Para Monitoramento Ambiental: Estudo de Caso no Rio Buranhém”. Aberta a sessão pelo presidente da mesma, coube ao candidato, na forma regimental, expor o tema de sua dissertação, dentro do tempo regulamentar, sendo em seguida questionado pelos membros da banca examinadora, tendo dado as explicações que foram necessárias. Os membros da banca consideraram o trabalho de dissertação:

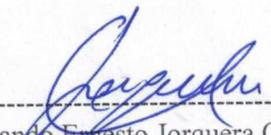
aprovado

aprovado com modificações

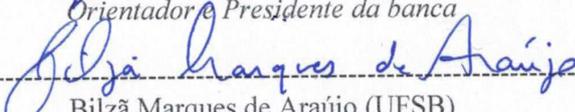
não aprovado, devendo ser realizada nova qualificação no prazo de ___ meses.

Recomendações da Banca:

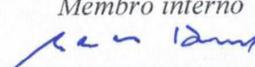
Banca Examinadora:



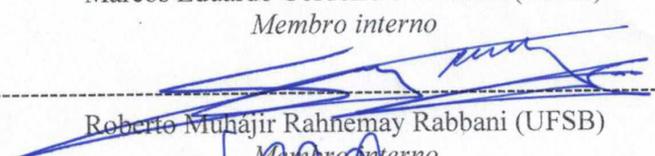
Orlando Ernesto Jorquera Cortes (UFSB)
Orientador e Presidente da banca



Bilzã Marques de Araújo (UFSB)
Membro interno

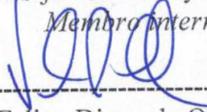


Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes (UFSB)
Membro interno



Roberto Muhájr Rahnemay Rabbani (UFSB)
Membro interno

Candidato:



Felipe Diego de Oliveira

Porto Seguro, 30 de outubro de 2019.

Dedico esse trabalho a Ana Maria de Oliveira, a pessoa quem
devo tudo o que eu sou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que ajudaram nessa jornada inesperada de uma pós-graduação.

Agradeço a Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB, por despertar o interesse da volta aos estudos através dos seus componentes: SÉP - Sustentabilidade é Possível e Robótica Educacional, a partir dali se plantou uma semente que resulta neste trabalho e também através do edital 14/2017 contribuiu com materiais necessários a essa pesquisa. Ao CNPq, e ao professor Marcos Bernardes pelos dados da pesquisa “Diagnóstico e monitoramento ambiental do estuário do rio Buranhém e região costeira adjacente, Porto Seguro/BA”

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais - PPGCTA e especialmente ao Professor Dr. Orlando Jorquera, que acreditou neste projeto e teve muita paciência. Muito obrigado, professor.

Aos amigos que me convenceram a tentar, Jorge, Vitor e especialmente Jéssica. Se cheguei até aqui, foi graças a vocês!

À equipe do Cambuí Supermercados, minha segunda família, onde fiz amigos-irmãos, pelo suporte. Agradeço especialmente a Heriton, pela sua serenidade para sempre encontrar o erro do código, e a Regionaldo, por ser o “melhor cara que eu conheço”.

Aos irmãos gambus, por sua amizade, que moldou o ser que sou. Devo muito a vcs: Big, Ciro, Eduardo, Júlio, Pudim, Ricardo, Saulo, Viton.

À família, pelo amor e pelo carinho. Mãe, obrigado pelo exemplo de determinação que tanto me inspirou, colocou em mim, e pelo exemplo que sempre foi e é para mim.

Filhos, o que faço é para de alguma maneira ser um exemplo, conhecimento é a única coisa que não pode ser tirada, eu os amo, desculpem pelos meus erros e procurem se inspirar pelos acertos, minha maior alegria será quando vocês forem mais longe, obrigado! Alice, Diego, Davi, Icaro e Amick.

AMOR - Você é quem mais sentiu tudo o que foi a conclusão deste trabalho sua paciência e seu perdão pelas minhas falhas só demonstram quanta sorte eu tive, você foi a motivação maior que me levou a alcançar voos mais altos - ETA -

*"This culture of sharing and helping each other is one of the things that
I'm most proud of in regard to Arduino."*

Massimo Banzi, um dos criadores do Arduino.

Sumário

RESUMO.....	08
ABSTRACT.....	09
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
IoT.....	15
Arduino.....	15
NodeMCU.....	17
WSN (<i>Wireless Sensor Networks</i>) com utilização de IoT.....	17
Comunicações sem fio de e IoT.....	19
Energizando nós IoT.....	20
Serviço de Nuvem para comunicação IoT.....	20
<i>Open-Source</i>	21
3. OBJETIVOS.....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
Montagem do IoT e localização geográfica.....	24
O protótipo ecoIOT.....	25
Programação e Codificação.....	28
Comunicação IoT e serviço de nuvem.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
Análise de dados: Sensores de Temperatura e Pressão Atmosférica.....	33
Fotoresistor LDR / Sensor de Luminosidade BH1750.....	35
Baterias / Alimentação Solar.....	36
Sensor de Umidade Relativa do ar.....	38
Análise de dados em tempo real.....	38
Custos e montagem do protótipo.....	39
<i>Troubleshooting</i> : Solução de problemas em tempo real.....	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	42
7. PERSPECTIVAS FUTURAS.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

APLICAÇÃO DE IoT (INTERNET OF THINGS) PARA CRIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO *OPEN-SOURCE* PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO NO RIO BURANHÉM

RESUMO

Dados recentes estimam que a quantidade aproximada de dispositivos IoT conectados à internet em 2025 chegará aos 75 bilhões. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento e avaliação de um sistema wireless de monitoramento baseado em IoT de baixo custo, conectado a uma rede wifi, alimentado por painéis solares em um protótipo *open-source* de monitoramento ambiental chamado pelo autor de *ecoIoT*, no período correspondido entre maio a setembro de 2019. Como estudo de caso realizou-se o monitoramento enviando a internet os seguintes parâmetros ambientais coletados: Do ar (temperatura, intensidade luminosa, pressão atmosférica e umidade relativa) e de superfície da água (temperatura e ph) em um píer flutuante localizado na Marina Buranhém no estuário do rio Buranhém em Porto Seguro, sul da Bahia. O presente estudo demonstrou como o dispositivo proposto obteve boa correlação dos dados obtidos com outras fontes se configurando uma alternativa de baixo custo para o monitoramento ambiental em tempo real com envio de dados a internet ao serviço agregador de dados na nuvem thingspeak.

Palavras-chave: Internet das coisas, *open-source*, monitoramento ambiental, rio buranhém, wireless, thingspeak.

IoT (INTERNET OF THINGS) APPLICATION TO CREATE AN OPEN-SOURCE PROTOTYPE FOR ENVIRONMENTAL MONITORING: CASE STUDY ON THE BURANHEM RIVER

ABSTRACT

Recent data estimates that the approximate number of IoT devices connected to the internet in 2025 will reach 75 billion. The objective of this work is the development and evaluation of a low-cost IoT-based wireless monitoring system, connected to a wifi network, powered by solar panels in an open-source prototype of environmental monitoring called by the author of ecoIoT, during the period between May and September 2019. In this case study, monitoring was carried out by sending the following collected environmental parameters to the internet: Air (temperature, light intensity, atmospheric pressure and relative humidity) and water surface (temperature and ph) in a floating pier located at Marina Buranhém in the Buranhém River estuary in Porto Seguro, southern Bahia. The present study demonstrated how the proposed device obtained good correlation of the data obtained with other sources, configuring a low cost alternative for real-time environmental monitoring with sending data over the internet to the data aggregator service in the cloud, called thingspeak.

Keywords: Internet of things, open-source, environmental monitoring, rio buranhém, wireless, thingspeak.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhamento geral das campanhas, identificação, períodos, tipos de dados coletados e tipos de sensores utilizados.....	33
Tabela 2 - Custos envolvidos na montagem do protótipo ecoIOT (em Reais R\$).....	41
Tabela 3 - Materiais propostos para aprimoramento do protótipo (em Dólares US).....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferença gráfica em forma de onda entre sinal digital e sinal analógico....	17
Figura 2 - Arquitetura típica de uma wsn (<i>wireless sensor network</i>).....	18
Figura 3 - <i>Dashboard</i> de visualização de um canal do <i>thingspeak</i>	21
Figura 4 - Mapa de localização geográfica do protótipo	25
Figura 5 - Esquemático de montagem geral do protótipo.....	28
Figura 6 - Fluxograma geral em blocos do código em C++ do protótipo	30
Figura 7 - Foto do local de instalação do protótipo na Marina Buranhém.....	32
Figura 8 - Gráficos comparativos entre temperaturas de águas superficiais medidas pelo protótipo ecoIOT e aparelho DST CTD / correlação entre valores.....	34
Figura 9 - Gráficos comparativos entre temperaturas do ar medidas pelo protótipo ecoIOT e as medidas pela estação meteorológica METAR-SBPS	35
Figura 10 - Gráficos comparativos entre pressão atmosférica medidas pelo protótipo ecoIOT e as medidas pela estação meteorológica METAR-SBPS	35
Figura 11 - Relação entre valor de pH do sensor ecoIOT e nível de salinidade medidos por sensor DST CTD correlacionados com altura das marés.....	36
Figura 12 - Gráficos comparativos entre luminosidade medida por fotoreistor LDR e sensor de luminosidade BH1750.....	37
Figura 13 - Comparativo entre níveis de tensão de bateria e incidência solar medida pelo sensor BH1570.....	39
Figura 14 - Gráficos comparativos entre leituras de umidade do sensor DHT11 e sensor AM3201 com as medidas pela estação meteorológica METAR-SBPS	40
Figura 15 - Foto do píer da marina Buranhém detalhe do protótipo na parte externa / foto do interior do protótipo com alta condensação.....	42
Figura 16: Esquemático de sistema aprimorado com coleta descentralizada, gravação local e envio de dados através de LPWAN.....	46

1. INTRODUÇÃO

O advento das tecnologias utilizadas para monitoramento ambiental denota um grande avanço na busca de um melhor entendimento do ambiente e dos fenômenos que levam às mudanças climáticas e demais mazelas causadas pelas atividades antrópicas, FANG et al. (2014) ressaltam como esse tema é recorrente e como, desde a década de 1980, vem sendo desenvolvidos diversos sistemas de monitoramento - tais como satélites com câmeras de alta resolução para monitoramento e imagens de grandes áreas, sistemas de posicionamento global (GPS), drones e veículos aéreos não tripulados(vants), com autonomia ampliada e maior precisão - a cada ano, juntamente com sistemas de informação geográfica (GIS). Já monitoramentos de ambientes aquáticos, usualmente são realizados através de coletas *in-situ*, para citar alguns exemplos, temos a utilização de sondas multiparâmetros, bóias derivadoras, CT/CTD, ADPs (SILVA, 2016);(MILLER, BERNARDES 2014), estações fixas (BERNARDES, 2001) e até campanhas que envolvem veículos marinhos. Apesar da variabilidade de escala, precisão e tempo, todos os sistemas descritos podem apresentar um custo elevado, dados obtidos em forma pontual e com uma periodicidade que não permite ter informação mais detalhada sobre variações em um curto espaço de tempo. Uma alternativa promissora e de baixo custo é a utilização dos chamados IoT - *Internet of Things* (Internet das Coisas) para o monitoramento e coleta de parâmetros ambientais em tempo real.

O termo *Internet of things* abrange uma gama de tecnologias que vai desde o uso de monitoramento remoto de sistemas industriais de alta complexidade a sensores agrícolas calculando a quantidade exata de água e nutrientes necessários a uma plantação e até a uma casa inteligente cujo seu morador deseja fechar as suas janelas remotamente para evitar a chuva (ROZSA, 2017). A internet das coisas pode ser compreendida como um incremento a internet atual, dispositivos inteligentes conectados à internet podem controlar e serem controlados remotamente, acessar e enviar informações permitindo monitoramento em tempo real e, com algum poder computacional, atuar em seu meio (SANTOS et al. 2016).

Dados recentes indicam que, de 2015 a 2018, a quantidade aproximada de dispositivos IoT conectados à *internet* subiu de 15 bilhões para 23 bilhões

aproximadamente e estima-se que, em 2025, ela chegará aos 75 bilhões (STATISTA, 2019). O que pode explicar esse crescimento exponencial, em grande parte, são justamente essas possibilidades que as plataformas baseadas em IoT podem prover. Segundo Dave Evans (2011, p.2), essas tecnologias:

“[...] representam a próxima evolução da Internet, dando um grande salto na capacidade de coletar, analisar e distribuir dados que nós podemos transformar em informações, conhecimento e, por fim, sabedoria [...]”.

Corroborando estas afirmações, o órgão de pesquisa sobre tendências tecnológicas IDC – em sua pesquisa *Worldwide Internet of Things Forecast, 2015-2020* – afirma que, até 2020, 10% de todo o tráfego da internet não serão produzidos por pessoas, mas sim a partir de sensores, atuadores e demais interações máquina para máquina. O tema de internet das coisas é de relevância global e o Brasil por meio do decreto nº 9.854/2019 instituiu o “Plano Nacional de Internet das Coisas” que visa fomentar o mercado e definir as prioridades de investimento e pesquisa desse tema no nosso país (BRASIL, 2019).

A possibilidade de conexão das “coisas” utilizando tecnologias sem fio à internet alavancou os IoT do seu estágio inicial (tags RFID - radiofrequência), para de fato dispositivos conectados (FANG et al. 2014). Cada sensor interconectado é chamado de “nó”, cujo conjunto de nós forma o que é conhecido como *wireless sensor networks* - WSN, rede de sensores sem fio (XU et. al. 2014), sendo o “nó” responsável pela coleta e transmissão de dados (ou parâmetros ambientais, como, por exemplo, a temperatura ambiente) a um concentrador ou diretamente à nuvem (CHAQFEH et al. 2012). As WSN tornaram os IoT ubíquos permitindo que estejam em todos os lugares e com variadas aplicações (KOTSEV et al. 2015). O dado disposto na nuvem (internet), em portal adequado, possibilita a visualização e monitoramento em tempo real (GUBBI et al, 2013) possibilitando ao pesquisador ou público em geral alguma tomada de decisão, como, por exemplo, uma manutenção em um determinado sensor que apresentou leituras fora do nível de significância exigido ou ação direta sobre o processo que se está monitorando.

Dentre as plataformas e dispositivos IoT disponíveis a mais difundida é a plataforma arduino, um microcontrolador programável de baixo custo e de simples prototipação e programação, além disso tem ampla compatibilidade com sensores e outros dispositivos como interfaces de comunicação, gravação em cartão de memória

etc. (MONK, 2014). A plataforma arduino ajudou a popularizar o IoT por meio de sua simplicidade, sendo um “*open-hardware*”. Dela, surgiu toda uma comunidade de troca de experiências, projetos e soluções, seguindo os preceitos do *open-source* e GPL. No “ecossistema arduino”, é vasta a quantidade de exemplos de aplicação bem como seus respectivos esquemáticos e código fonte (EVANS, 2011).

A popularização do IoT feita através do arduino fez surgir variantes mais robustas, que podem ir além de uma plataforma de prototipação, para de fato um dispositivo IoT que possa ser colocado em produção e se tornar um produto, um desses casos é a NodeMCU. A placa de desenvolvimento NodeMCU é um kit de desenvolvimento e firmware (o programa base de dispositivos computacionais) baseado no microcontrolador ESP8266 que já contém suporte a redes WiFi IEEE 802.11 nativo. Desenvolvido na china, esse *chipset* suporta até 4MB para aplicações, o que corresponde a uma capacidade 125x maior que o Arduino UNO, sendo amplamente compatível com as suas bibliotecas (NODEMCU TEAM, 2017).

Neste cenário futuro de onipresença de um mundo conectado, onde existirão cada vez mais dispositivos, emerge a busca por soluções que possam atender a demanda energética para os IoT. A busca de fontes de energia renovável pode ser uma alternativa a fim de reduzir os seus impactos ambientais, bem como pela a necessidade da criação de dispositivos que possam atender a sua característica ubíqua, dispositivos IoT precisam drenar energia do seu ambiente local (HAIGHT et al. 2016), devido ao baixo consumo desses dispositivos uma boa opção é a utilização de painéis solares fotovoltaicos juntamente com baterias recarregáveis. (MODAL; PAILY, 2017).

Considerando esses fatores, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento e avaliação de um sistema *wireless* de monitoramento baseado em IoT de baixo custo, utilizando a placa NODEMCU conectado a uma rede wifi, sendo este alimentado por painéis solares que forneciam energia para um conjunto de baterias de lítio recarregáveis, o protótipo *open-source* de monitoramento ambiental denominado pelo autor de ecoIOT. O estudo de caso ocorreu no período correspondido entre maio a setembro de 2019, onde foi realizado o monitoramento no estuário do Rio Buranhém em Porto Seguro, BA analisando-se em tempo real, por meio de transmissão via internet de parametros ambientais do AR (temperatura, intensidade luminosa, pressão atmosférica, umidade relativa do ar) e de superfície da água (temperatura e ph). Os dados coletados foram comparados com outras fontes, afim de demonstrar sua confiabilidade e viabilidade enquanto um protótipo de monitoramento ambiental.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

IoT

Segundo Wortmann (2015), a primeira referência ao termo IoT data do ano de 1999, em conferência do MIT a respeito de tecnologias de identificação por radiofrequência RFID, Wortmann também afirma que esse termo logo foi expandido para descrever toda uma nova gama de dispositivos. A definição mais atual sobre o que são tais dispositivos foi elaborada na conferência do *International Telecommunications Group*:

Uma infraestrutura global para a sociedade da informação, permitindo serviços avançados pela interconexão (física e virtual) das coisas em que são baseadas, sejam existentes ou desenvolvendo informação com interoperabilidade e tecnologias de comunicação (ITU, 2012, p.1).

Rifkin (2014), também alinhado com os propósitos desta pesquisa, se embasa na linha de pensamento do “baixo custo” propiciado pela IoT e o espírito do “faça você mesmo” na publicação: *The Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism*, apresenta uma discussão interessante sobre a nova revolução da produção pessoal, como impressoras 3D, e outros dispositivos baseados em IoT de baixo custo e, principalmente, do ambiente colaborativo o qual permite que essas tecnologias estejam disponíveis para download a qualquer pessoa.

Arduino

O arduino é uma placa microcontroladora dotada de interfaces de entrada e saída. Essas interfaces, também chamadas de portas, podem enviar e receber informações analógicas ou digitais, a placa Arduino UNO conta com 5 portas analógicas e 13 digitais, também conta com uma entrada de alimentação com voltagens de 7 a 24v, e fornece alimentação de 3,3v e 5v, bem como os pinos *GND* (*Ground* - Aterramento, polo “negativo”) isso permite a ligação direta dos sensores e atuadores em suas portas digitais, dispensando o uso de fontes externas (ARDUINO, 2019). Foi desenvolvida como uma maneira versátil para várias aplicações, devido a todos esses recursos, o

Arduino é mantido por uma comunidade de desenvolvimento *open-source* que sempre está aprimorando suas funções.

Como linguagem de programação, utiliza de uma versão simplificada do C# além de várias bibliotecas dos dispositivos que complementam suas funções.(MONK, 2014). A controladora Arduino é programada através da sua IDE, uma interface de desenvolvimento de códigos em C++, esse código (*firmware*) é enviado à placa através de uma conexão serial com o computador através da porta USB e gravado em sua memória interna EPROM. Um código para Arduino é composto de 3 blocos de instrução a área de declarações globais onde são acionadas as bibliotecas, a área de setup onde são realizadas as configurações e parametrizações, e a área de LOOP infinito, onde estão os comandos a serem executados, esses comandos são executados continuamente salvo orientação (ou comando) contrário. A conexão serial presente na placa via USB serve também para receber e enviar comandos para a controladora quando essa já executa o código gravado em sua EPROM (ARDUINO, 2019).

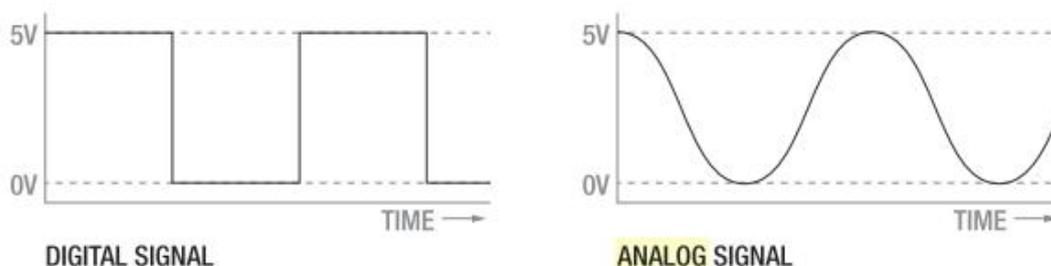
Margolis (2011) destaca o valor educacional do Arduino e sua facilidade de criar protótipos sem um profundo conhecimento de detalhes técnicos, pois foi desenvolvido para ser usado por leigos e com vastos exemplos demonstrando seu uso.

De todas as características do Arduino, talvez a mais importante seja sua comunidade, conhecida como “makers”, a qual contribui para o ecossistema Arduino, desenvolvendo códigos e bibliotecas, criando novos hardwares e produzindo workshops, compartilhando na sua maioria das vezes de maneira open-source seu conteúdo. (EVANS, 2011). São as bibliotecas que permitem que o Arduino expanda seu funcionamento, elas permitem que o *hardware* “acessório”, seja um sensor, um atuador, uma interface de comunicação sem fio, bibliotecas são “pedaços” de código que permitem que o dispositivo físico seja reconhecido pelo *software*. A bibliotecas são importadas para a IDE ARDUINO e possuem exemplos do funcionamento do dispositivo (MARGOLIS, 2011).

Na medida em que este trabalho visa criar um protótipo de monitoramento ambiental, depende diretamente dos sensores. Em relação a isso, Margolis (2011) define que sensores são dispositivos que convertem algum aspecto do mundo físico em eletricidade (portas analógicas), ou pulso elétrico (portas digitais). A Figura 1, a seguir, demonstra a diferença entre uma leitura analógica e uma leitura digital. A leitura analógica permite uma leitura contínua dos valores, que pode traduzir uma tensão recebida e relacioná-la a um determinado valor (ex. $1,75v = 35^{\circ}C$), enquanto a digital

precisa de um equipamento ou uma biblioteca para interpretar os sinais digitais que correspondem às leituras.

Figura 1 - Diferença entre sinal digital e sinal analógico.



Fonte: MARGOLIS 2011, p. 85

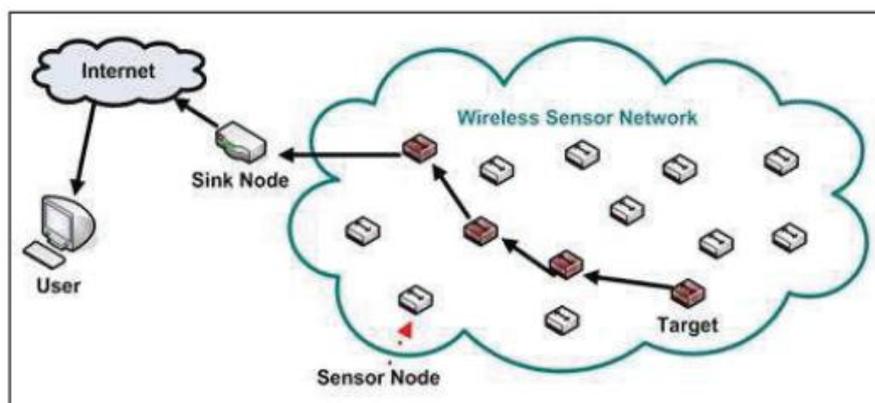
NodeMCU

A placa de desenvolvimento NodeMCU é um kit de desenvolvimento e firmware baseado no microcontrolador ESP8266, chipset que já contém suporte a redes WiFi (IEEE 802.11) desenvolvido na china, esse chipset suporta até 4MB para aplicações (125x maior em relação a placa ARDUINO UNO), e possui um número menor de portas digitais que o ARDUINO (8 portas) e apenas 1 porta analógica na sua versão 12F. Inicialmente sua programação se restringia a linguagem LUA, mas a partir das atualizações mais recentes, é compatível com a IDE ARDUINO e linguagem C++, e amplamente compatível com as bibliotecas do ARDUINO UNO possui também vários recursos de servidor *web*, e os recursos do protocolo WiFi 802.11, cliente/servidor TCP, access point e rede ad-hoc(CROW et al., 1997). A combinação desses fatores, na prática, permite que a NodeMCU possa criar uma rede sem fio e hospedar uma página de maneira totalmente autônoma (NODEMCU TEAM, 2017). Outro recurso que merece destaque é atualização *over the air* (OTA) tecnologia que permite que a placa seja reprogramada remotamente sem a necessidade de desconexão, (GORE, 2016). Tal recurso é essencial quando se pensa, em ubiquidade, atualizações de software e melhorias nos dispositivos IoT podem ser feitas sem a necessidade de manutenção local. A NodeMCU/ESP8266 é amplamente utilizada quando se trata de projetos que utilizam a conexão WiFi.

Wireless Sensor Networks (WSN) com a utilização de IOT

Redes de sensores sem fio coletando dados em tempo real e transmitindo esses para internet têm inúmeras aplicações conhecidas e se configuram como um importante aliado na preservação ambiental e monitoramento de ecossistemas (OTHMAN, 2012). Essas redes consistem de pequenos “nós” coletando informações, onde cada “nó” é responsável pela coleta transmissão do dado o conjunto de nós forma é comumente chamado de *wireless sensor networks* (WSN) ou redes de sensores sem fio (RSSF). A arquitetura dessas redes se configura de uma série de dispositivos comunicando-se entre si, enviando dos dados a um concentrador ou diretamente à nuvem (CHAQFEH et al, 2012). A figura a seguir demonstra uma arquitetura típica de uma WSN, onde vários nós estão presentes, comunicando entre-si, enviando o dado até um ‘nó-concentrador’ (*sink node*) que transmite o dado para a internet.

Figura 2: Arquitetura WSN.



Fonte: OTHMAN 2012, pg. 2

Comparado a outros meios de monitoramento as WSN podem se apresentar como soluções que apresentam vantagens como baratear os custos de implantação de projetos dessa natureza, variedade de parâmetros que podem ser coletados (ZHU, 2012), com a incorporação de dispositivos IoT, pode-se ir mais fundo nessa customização e redução de custos permitindo soluções específicas levando em conta as características do local a ser analisado, diferente de sensores “industriais” com menos opções de parametrização. Sobre a utilização de IoT em soluções WSN Lazarescu aponta que:

A aquisição de dados com a utilização de IoT no monitoramento ambiental é desafiadora, principalmente para campos abertos. Isto pode requerer um grande número de sensores, baixo custo,

alta confiabilidade, e operações longas sem manutenção. Ao mesmo tempo, os “nós” podem ser expostos a variações e condições climáticas extremas. (LAZARESCU, 2013, p. 2, *traduzido pelo autor*).

A grande vantagem das *WSN* é a possibilidade do monitoramento em tempo real, sua implantação deve levar em conta os requisitos locais, para definição do tipo de conexão a ser escolhida de acordo com volume do pacote de dados e a periodicidade de envio das informações, levar em consideração o objeto de estudo (ou análise) para definição do protocolo de comunicação, onde esses dados serão armazenados ou demonstrados, (LAZARESCU, 2013; OTHMAN, 2012) e a durabilidade do sensor para dimensionamento da questão energética e o uso de baterias, placas solares ou outras formas de captar energia do ambiente (MONDAL, 2017). Xu et al. (2014 p.1) destaca que tratando-se de ambientes marinhos precisam-se de “nós” ainda mais robustos, a fim de enfrentar as intempéries do ambiente onde estão inseridos.

Comunicações Sem-fio e IoT

O protocolo IEEE 802.11 data seu desenvolvimento do ano de 1997(CROW et al, 1997) desenvolvido como uma alternativa a redes cabeadas de computadores, não previa seu uso para os dispositivos IoT, seu alcance, vazão e difusão o tornam adequados a equipamentos como *notebooks* e *tablets* (SANTOS et al, 2016). Portanto questões como consumo energético não eram foco do desenvolvimento dessa tecnologia, comparativamente o 802.11 é o meio de comunicação sem fio de maior demanda energética.

Como alternativa outros meios de comunicação sem fio para IoT precisam ser explorados mas devido a Resolução nº 242/2000, art. 20 (ANATEL, 2019), que trata sobre a homologação dos dispositivos conectados às redes móveis no país. A ANATEL iniciou em 2018 um bloqueio a todos os IMEI¹ não homologados, isso impossibilitou dos testes até que exista uma interface compatível com arduino homologada. É importante ressaltar que já existam estudos específicos de comunicação para o IoT, as *Low Power Wide Area Networks (LPWAN)*, que conforme descrito por (LINKLABS, 2016) são uma protocolos de comunicação de topologia *MESH* baseados em 3 pilares fundamentais: grande alcance, baixa banda de transmissão de dados e baixíssimo

¹ *International Mobile Equipment Identity*

consumo energético (até 10 anos com uma bateria de 2000mAh, a mesma carga utilizando WiFi 802.11 teria 7 dias de autonomia), as faixas de frequência e os equipamentos com a tecnologia LPWAN também carecem de homologação da ANATEL.

Energizando nós IoT

Um desafio a pervasividade dos IoT enquanto funcionando como *WSN* é a questão energética, pode limitar ou definir como o dispositivo IoT irá operar, Haight et al. (2016, p.2), enxergam que a questão energética pode ser considerada uma barreira, e formas de drenar energia local, seja solar, eólica, correntes de água, entre outras e, é importante que os dispositivos na sua construção sejam energeticamente, microcontroladores de baixo consumo e alternativas de transmissão de dados como as LPWAN. Wu et al, (2017) testou em seu trabalho um sistema solar para alimentar um sensor wireless, e afirma que “*The power supply unit plays a critical role in wireless sensor networks*”, os autores e o trabalho de Santamaria et al. (2018, p.3) destacam como as condições climáticas são determinantes para eficiência desse tipo de sistema de alimentação para IoT.

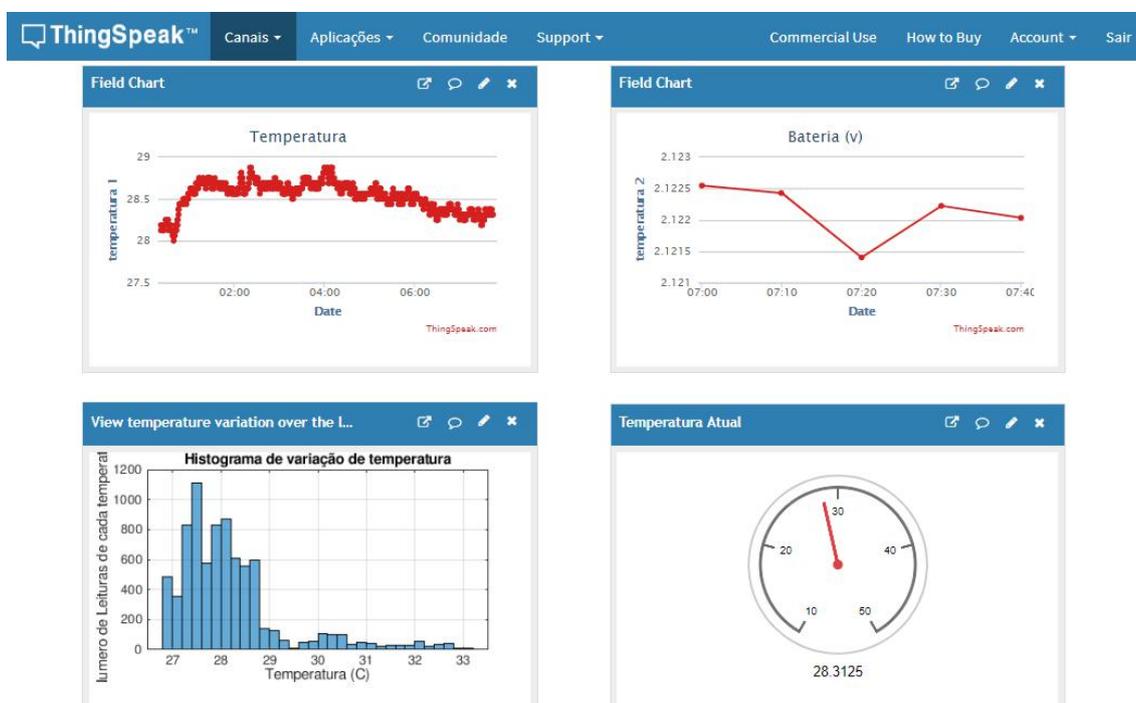
Serviço de Nuvem para comunicação IoT

Os dados coletados a partir dos sensores precisam de uma interface de agregação e monitoramento, para o projeto foi selecionado o serviço *Thingspeak* (<https://thingspeak.com/>) pertencente a *Mathworks*. Maureira et. al. (2011) destaca que essa ferramenta é ideal para serviços de menor porte é gratuito em detrimento a outros serviços semelhantes. *Thingspeak* segundo seu manual é definido como: “Uma plataforma IoT que permite coletar, armazenar, analisar, visualizar e atuar sobre dados a partir de sensores e atuadores” (MATHWORKS, 2019). Os dados armazenados podem ser exportados em formato .csv, bem como possui integração com o MATLAB, também produto da *Mathworks*. O plano gratuito permite a criação de até 4 canais suportando a coleta, análise e o armazenamento de até 8 dados por canal. permite correlação entre não apenas os dados do canal, mas entre os canais que criam visualizações dinâmicas usando o Matlab, como um histograma de leitura de temperatura (DOUKAS; MAGLOGIANNIS, 2012) a ferramenta também permite o envio de alertas por SMS ou

twitter quando as condições pré-programadas são atingidas mesmo se tratando do plano livre, esse fator foi importante na composição do protótipo instalado, pois as condições de sua operação foram monitoradas em tempo real, permitindo uma pronta resposta em incidentes, maximizando a operação de coleta de dados.

A figura 3 demonstra uma tela padrão de utilização do *thingspeak* que fornece um *dashboard* com diversas opções de visualização dos dados em tempo real, como histogramas e mostradores tipo relógio, também é possível customizar a visualização a fim de parametrizar o período a ser apresentado, além de operações aritméticas como média, moda, mediana, etc.

Figura 3: Dashboard de visualização de dados do thingspeak



Fonte: o Autor.

Open source

A *Free Software Foundation* (2016) define software *open-source* ou software livre como sendo um programa que obedece a quatro liberdades fundamentais:

- 1 - liberdade de executar o programa como desejar;
- 2 - liberdade de estudar como um programa funciona e adaptá-lo a suas necessidades;

3 - liberdade de redistribuir cópias de modo que você possa ajudar ao próximo;

4 - liberdade de distribuir sua cópia modificada a outros, sob a mesmas liberdades anteriores, permitindo o desenvolvimento da ideia.

O protótipo a ser proposto, tanto seu hardware e software irão ter como base essas 4 liberdades fundamentais em uma licença do tipo GPL: *General Public License*, sendo publicados na plataforma de colaboração *open-source* mais difundida e maior número de projetos o *GitHub*. (ALAMER; ALYAHYA, 2017, p.6).

3. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema wireless de monitoramento baseado em IoT open-source de baixo custo para monitoramento de parâmetros ambientais em tempo real.

Objetivos específicos:

A - Desenvolver, implementar e avaliar um protótipo open-source, utilizando as tecnologias IoT disponíveis.

B - Explorar e utilizar opções de fontes de energia renovável no protótipo.

C - Disponibilizar esse projeto em site de colaboração para divulgação e aprimoramento do mesmo, bem como a documentação do protótipo a fim de facilitar sua reprodução, tanto por pesquisadores, quanto por instituições ou estudantes;

D - Testar o protótipo em campo e coletar dados para análises.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Uma versão do protótipo ecoIOT foi submetido a testes de campo nas intermediações da foz do Rio Buranhém no município de Porto Seguro, Bahia, foram realizadas leituras de parâmetros (pH, temperatura) de águas superficiais, e parâmetros ambientais (temperatura, luminosidade, pressão atmosférica), no período compreendido entre maio de 2019 a setembro de 2019, os dados coletados em um intervalo de 300 segundos, neste período foram disponibilizados em tempo real na internet, através da plataforma *Thingspeak* de forma aberta.

Esta seção de materiais e métodos nos tópicos a seguir explica como os testes em campo permitiram o aprimoramento do protótipo, 4 versões foram colocadas em campo, a cada etapa uma correção ou aprimoramento era realizado, essas etapas foram identificadas neste trabalho como “campanhas”.

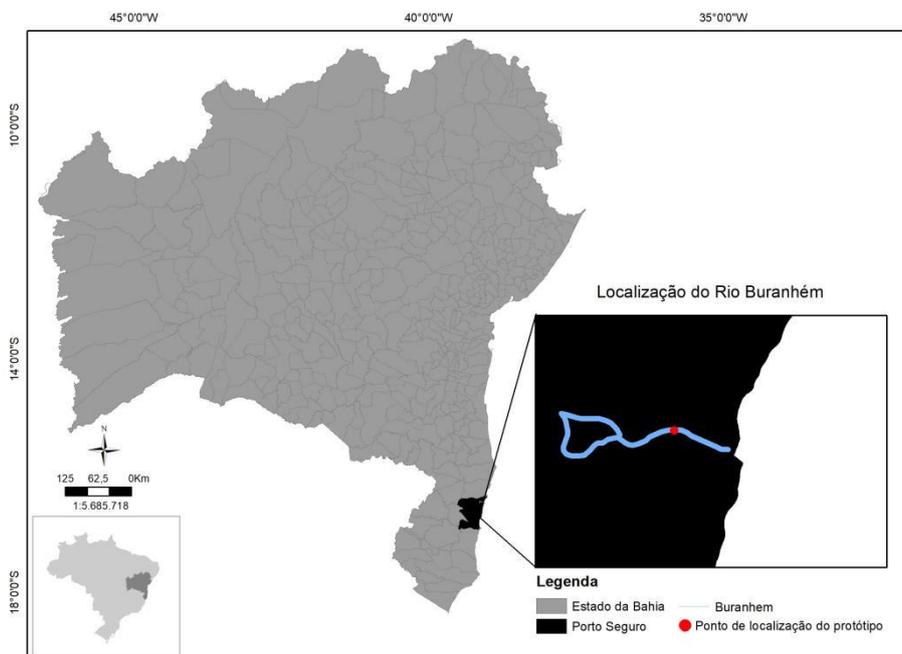
O presente trabalho se caracteriza um estudo de caso exploratório, apresentando o resultado da experimentação que se resultou no protótipo, bem como uma análise dos dados coletados no período, demonstrando a viabilidade da utilização de um protótipo de baixo custo *open-source* de monitoramento em tempo real.

Montagem do IoT e localização geográfica

O protótipo ecoIOT foi montado no píer do condomínio “Marina Burahem” localizado no rio Buranhém ($16^{\circ} 26' 41'' S$; $39^{\circ} 5' 3'' O$), em Porto Seguro, Bahia, Brasil (figura 04), pertencente a região de planejamento e gestão das águas (RPGA): Rio dos Frades, Buranhém e Santo Antônio. O rio Buranhém nasce no estado de Minas Gerais e tem sua foz no município de Porto Seguro, com extensão de 148km. O local de escolha tem um importante interesse social, pois além de se tratar de uma das poucas marinas na cidade de Porto Seguro com intensa atividade náutica, a marina está a 800m à jusante do ponto de despejo de efluentes da estação de tratamento da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA) localizada às coordenadas geográficas de: ($16^{\circ}26'33.3''S$ $39^{\circ}05'30.8''O$). Outro fator importante pela escolha do local foi a disponibilidade da conexão sem fio, e a segurança pela integridade do protótipo, por se tratar de um condomínio com acesso restrito.

A montagem consistiu em colocar o sistema sob o píer flutuante, permitindo que as variações de maré não alterassem a posição dos sensores de pH, e temperatura imersos a aproximadamente 20cm da superfície do rio.

Figura 4: Localização geográfica do Rio Buranhém e ponto de instalação do protótipo.



Fonte: o Autor.

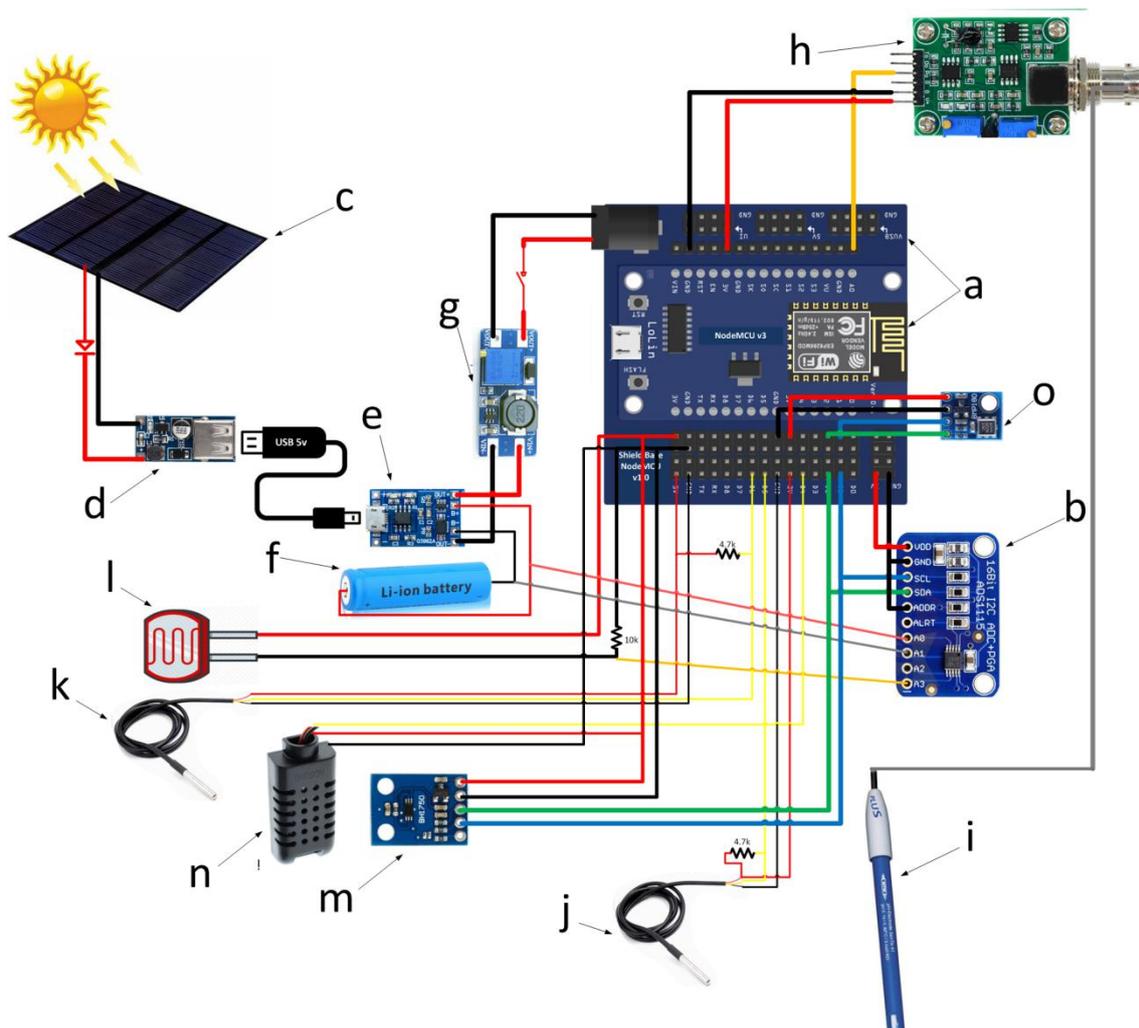
O protótipo *ecoIOT*

O protótipo foi construído usando uma board NodeMCU ESP8266 montado em uma shield NodeMCU Base 1.0 conforme demonstrado abaixo na Figura 5a, as shields expandem o funcionamento das boards facilitando o acesso aos pinos (ou portas), fornecendo um circuito de alimentação protegido ou até expandindo seus recursos (GERTZ, 2012);(BENTO, 2018). O método de conexão a internet escolhido foi o WiFi (802.11b) fornecido localmente pela Marina Buranhém. A presença de apenas 1 porta analógica na board (NODEMCU TEAM, 2017) foi contornada com a instalação um conversor analógico-digital ADS1115, ligado as portas digitais “D1 e D2” da shield e, “SCL e SCA” do ADS1115 que através do interface serial I2C (Inter-Integrated Circuit), provém 4 portas analógicas adicionais (A0,A1,A2,A3), para o endereçamento serial foi definido o endereço 0x48 ligando as porta ADDR junto com a porta GND do conversor, com alimentação de 3V fornecidos pela shield. (Fig. 5b).

Para atender as necessidades energéticas do protótipo foi construído um sistema de alimentação contínua baseado em energia fotovoltaica A estrutura de componentes do protótipo, conforme destacado na Figura 5, tem a seguinte configuração: 4 painéis solares fotovoltaicos com características de geração de tensão de até 5v com 1w de potência e 200ma com um diodo no seu polo positivo de saída, ligados em paralelo totalizando em até 5v de tensão, 4w potência e 800ma de corrente (Fig. 5c), ligada um DC-DC StepUP booster 5v (Fig. 5d) que eleva e estabiliza a tensão recebida do painel solar a 5v, este ligado a um controlador de carga TP4056 (Fig. 5e), este ligado ao seu pólo de carregamento a 2 baterias de íons de lítio do modelo 18650 com 3,7v de tensão (Fig. 5f), e conectado a sua saída de tensão um regulador de tensão DC-DC StepUP MT3608 (Fig. 5g) calibrado a uma tensão saída de 7v fornecendo a tensão adequada a shield. Esse esquema é baseado no proposto como “*Typical power management architecture of an IoT node*” (MONDAL, 2017), e próximo ao modelo utilizado em Wu et al (2017, p.4), que na saída do sistema de bateria utiliza um *low-dropout* ou LDO regulator é um regulador linear de voltagem DC que estabiliza a voltagem de saída.

A partir desta configuração base foram instalados os sensores, o conjunto do sensor de pH, composto por 2 partes, a placa pH-4502C *transmitter* (Fig. 5h) ligado a porta analógica “A0” na *shield*, ligado a ele e submerso abaixo do píer temos o pH *probe* (sonda) (Fig. 5i), também submerso a água foi posicionado um sensor de temperatura digital DS1820b ligado a porta digital “D5” (Fig. 5j). Os sensores ambientais do ar são: temperatura ambiente digital DS1820b ligado a porta digital “D6” (Fig. 5k); Para luminosidade fotoreistor LDR (Fig. 5l) ligado a porta analógica expandida “A3” do ADS1115 (campanha 1), nas demais foi utilizado um sensor de luminosidade BH1750, ligado ao barramento serial I2C (Fig. 5m) ; sensor de umidade relativa do ar o sensor DHT11(campanha 1) e, AM2301(Fig. 5n) nas demais campanhas ligados a porta digital “D4”; sensor de pressão barométrica digital BMP180 (Fig. 5o) ligado também através do barramento serial I2C. Para medir a tensão das baterias de lítio, as portas analógicas A0 e A1 do ADS1115 foram ligadas respectivamente no polo positivo e negativo para medir a diferença potencial de tensão. Todos os sensores foram alimentados com a tensão de 3v fornecidos pela *shield*.

Figura 5: Esquemático geral de ligação do protótipo ecoIoT.



- a) NodeMCU / Shield Base;
- b) Conversor analógico-digital ADS1115;
- c) Painel Solar 5v 200ma 1w;
- d) StepUP Booster 5v.
- e) Carregador baterias TP4056.
- f) Bateria de lítio 18650.
- g) StepUP MT3608.
- h) Placa pH-4502C transmitter.
- i) Sonda pH probe.
- j) Sensor de temperatura DS1820b.
- k) Sensor de temperatura DS1820b.
- l) Fotoresistor LDR.
- m) Sensor de luminosidade BH1750.
- n) Sensor de Umidade AM2301.
- o) Sensor de pressão atmosférica BMP180.

Fonte: o Autor.

Todo o sistema foi montado numa caixa hermética plástica nas dimensões de 19x14x9cm com vedação para evitar entrada de água. Dentro da caixa hermética foram posicionados os itens: “a”, “b”, “d”, “e”, “f”, “g”, “h” e “o” assinalados na figura 5, os itens “i” e “j” submersos a 20cm de profundidade. O itens “c”, “k”, “l”, “m”, e “n” foram posicionados em uma haste junto ao píer a aproximadamente 1,60m de altura. Esse conjunto forma a base do protótipo *ecoIOT*, durante as campanhas houveram pequenas alterações e ajustes, que serão objeto de discussão abaixo, na apresentação dos resultados do trabalho.

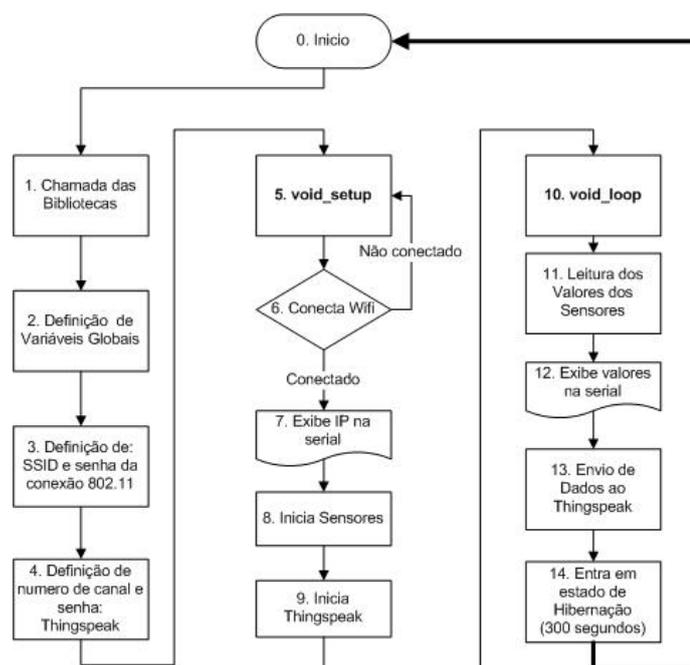
Programação e Codificação

A *board* NodeMCU foi desenvolvida primariamente para utilização da linguagem LUA , mas é amplamente compatível com a C++ (NODEMCU TEAM. 2017) que é a linguagem da plataforma Arduino, a opção se deu a ampla compatibilidade com as bibliotecas desenvolvidas pela comunidade (EVANS, B. 2011), necessárias ao funcionamento dos sensores acoplados ao protótipo. O código embarcado na placa foi escrito utilizando a linguagem C++ e a IDE Arduino, e, tanto o código e as bibliotecas complementares foram disponibilizados na comunidade *open-source* “github” podendo ser acessado no *website*: <<https://github.com/ecoIOT/ecoIOT>>.

O fluxograma retratado na figura 06 a seguir demonstra em linhas gerais o funcionamento do protótipo quanto ao seu código-fonte, as numerações (0 a 14) representam blocos do código. Para o funcionamento foram utilizando os códigos de exemplo de cada uma das bibliotecas dos sensores (temperatura, pressão, etc..), dispositivos (rede WiFi) e aplicações (Thingspeak).A linha destacada na figura que interliga o bloco “14” ao bloco “0”, se refere ao funcionamento da biblioteca *deepsleep*, com esse comando a *board* entra em um modo de hibernação tal procedimento é essencial para economia de energia, após o tempo programado para hibernação (300s), a porta digital “D1” ligada a porta “RST” da NodeMCU, envia um pulso elétrico que reinicia a placa ao ponto inicial de funcionamento, diferentemente do funcionamento normal em um código C++ para arduino onde o programa é executado continuamente dentro do “loop-infinito” (MONK, 2014 p. 36).

Essa rotina levando em consideração as variações de tempo de conexão e execução do código permitiram uma coleta a cada 5 minutos aproximadamente.

Figura 6: Fluxograma geral em blocos de código desenvolvido em c++ para o dispositivo.



Fonte: o Autor.

Comunicação IoT e Serviço de nuvem

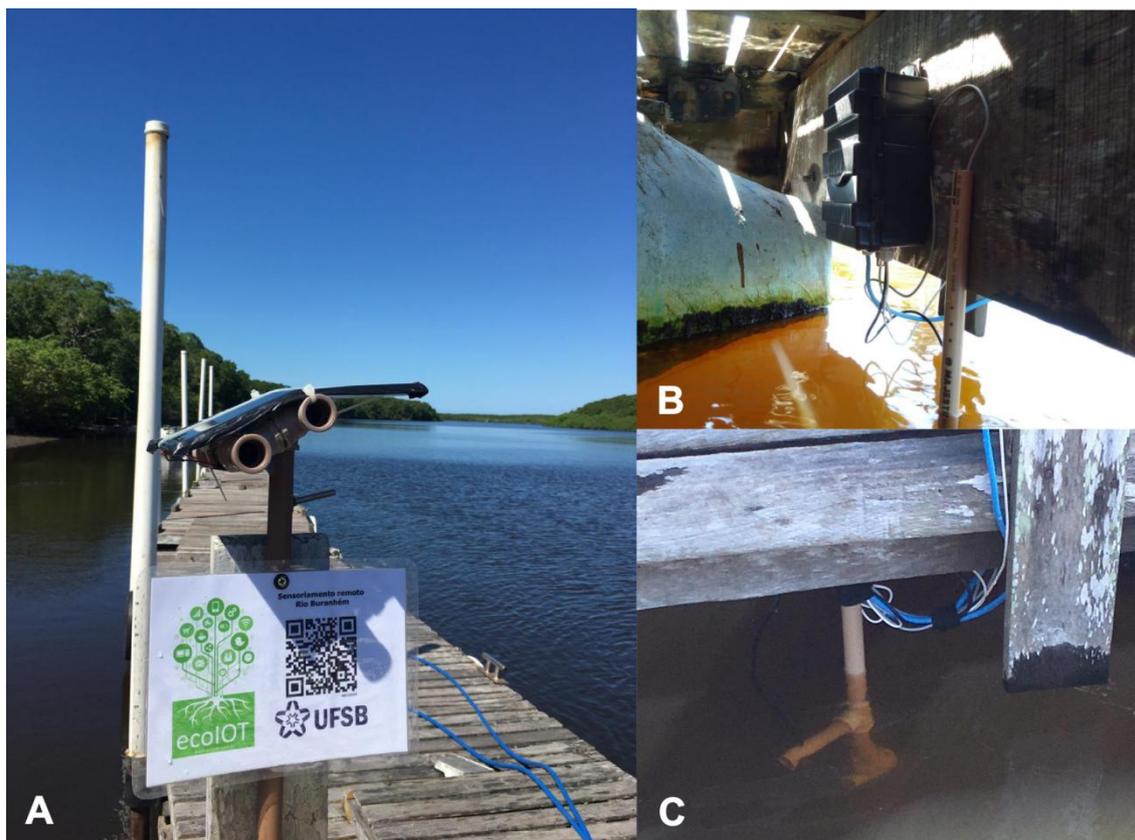
Foi selecionado o serviço Thingspeak para agregação dos dados, o plano gratuito oferecido pela ferramenta permitiu a coleta dos dados na periodicidade prevista, o thingspeak também possui integração com matlab, opções de visualização com criação de dashboards dinâmicos e exportação de dados. O protótipo ecoIOT foi programado para que os dados gerados pelo sistema fossem enviados a nuvem numa taxa de aquisição de uma amostra a cada 5 minutos utilizando a conexão WiFi 802.11. Ao todo foram criados 4 canais para envio dos parâmetros correspondentes a cada uma das campanhas.

Os dados completos durante um período das campanhas foram baixados em formato .csv para análises posteriores.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma versão do protótipo ecoIOT foi submetido a testes de campo no píer do residencial Marina Buranhém no município de Porto Seguro, Bahia, realizando a leitura de parâmetros (pH, temperatura) de águas superficiais, e parâmetros ambientais (temperatura, luminosidade, pressão atmosférica) nas intermediações do Rio Buranhém no período compreendido entre maio de 2019 a setembro de 2019, os dados coletados neste período de testes foram disponibilizados em tempo real na internet, através da plataforma *Thingspeak* de forma aberta. As 4 campanhas na Marina Buranhém permitiram o aprimoramento do protótipo, até uma versão estável, o presente trabalho apresenta o caminho que se resultou no protótipo, bem como uma análise dos dados coletados no período nas versões que foram submetidas a testes, comparando esses a outras fontes demonstradas posteriormente. A Figura 7 indica como o protótipo foi posicionado no píer da Marina Buranhém, a Figura 7A demonstra uma visão geral do local de instalação, a haste de pvc que serviu de suporte aos sensores ambientais e painéis solares. Foi disponibilizada também uma placa sinalizando um “QRCODE” com link para o website *thingspeak* no canal “ecoIOT Marina”, onde os dados poderiam ser acompanhados em tempo real. A foto da Figura 7B foi tirada por baixo do píer, onde está fixada, na sua parte interna a caixa hermética, ao lado da caixa está a haste de pvc usada para posicionar os sensores submersos, que podem ser melhor visualizados na imagem 7C.

Figura 7: Marina Buranhém local de instalação do ecoIOT.



A) Visão geral do píer sensores ambientais e painéis solares; B) Caixa hermética fixada na parte interna do píer; C) Haste de pvc abaixo do píer com sensores submersos.

Fonte: o Autor.

A Tabela 1 demonstra um detalhamento das campanhas, são apresentadas as seguintes informações: A identificação da campanha e número do canal junto ao *thingspeak*; O período da campanha; A quantidade de dias efetivos de funcionamento; O número de envios totais: a quantidade de vezes que o conjunto de dados coletados e foi enviado a nuvem e quais foram os dados coletados e qual foi o sensor utilizado.

Tabela 1: Detalhamento dos períodos de realização das campanhas, e dados e sensores utilizados.

Campanha:	Data de início:	Data de término:	Dias em funcionamento:	Envios:	Dados Coletados / Sensor Utilizado:
1 Canal: 731052	25/05/19	16/06/19	26	6496	Temperatura ambiente (C) / DS1820b; Umidade relativa do Ar (%) / DHT11; Temperatura ambiente (C) / DHT11; Temperatura água (C) / DS1820b; pH da água (pH) / pH-4502C ; Pressão Atmosférica (hPa) / BMP180; Fotoresistencia (%) / LDR; Tensão bateria (v) / ADS1115.
2 Canal: 792716	30/06/19	04/07/19	5	1226	Temperatura ambiente (C) / DS1820b; Umidade relativa do Ar (%) / AM2301; Temperatura interna (C) / BMP180; Temperatura água (C) / DS1820b; pH da água (pH) / pH-4502C ; Pressão Atmosférica (hPa) / BMP180; Luminosidade (%) / BH1750; Tensão bateria (v) / ADS1115.
3 Canal: 137728	13/07/19	27/07/19	10	2080	Temperatura ambiente (C) / DS1820b; Umidade relativa do Ar (%) / AM2301; Temperatura água1 (C) / DS1820b; Temperatura água2 (C) / DS1820b; pH da água (pH) / pH-4502C ; Pressão Atmosférica (hPa) / BMP180; Luminosidade (%) / BH1750; Tensão bateria (v) / ADS1115.
4 Canal: 832094	29/07/19	03/09/19	39	10233	Temperatura ambiente (C) / DS1820b; Umidade relativa do Ar (%) / AM2301; Temperatura água1 (C) / DS1820b; Temperatura água2 (C) / DS1820b; pH da água (pH) / pH-4502C ; Pressão Atmosférica (hPa) / BMP180;

Os dados de todas as campanhas estiveram disponíveis em tempo real para visualização e, estão disponíveis na plataforma *thingspeak* para download, no seguinte website: <https://thingspeak.com/channels/<número do canal>>.

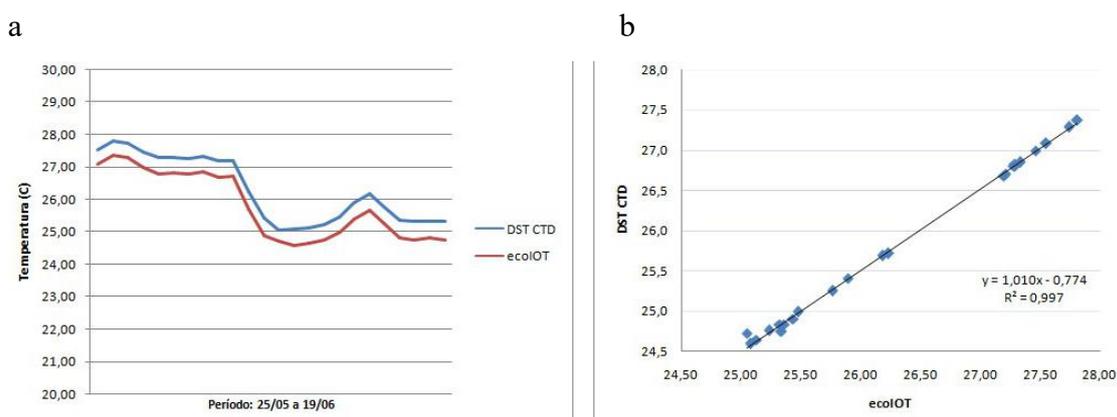
Análises dos dados: Sensores de Temperatura e Pressão Atmosférica

Os dados foram coletados conforme descrito anteriormente e comparados com os dados obtidos através de um Registrador de Salinidade, Condutividade, Temperatura e Profundidade DST-CTD também instalado na Marina Buranhém (BERNARDES, no prelo) com uma taxa de aquisição a cada 10 minutos. Outros dados que serviram de parâmetro de análise da funcionalidade do protótipo foram os dados do sistema meteorológico do Aeroporto Internacional de Porto Seguro METAR-SBPS disponibilizados pelo CPTEC/INPE através do portal:

<<http://bancodedados.cptec.inpe.br/downloadBDM/>>.

Os dados de temperatura foram comparados para validação, estes, apresentaram o mesmo perfil de temperatura que os obtidos através do registrador DST CTD indicado pelo gráfico de correlação, um um valor de $R^2 = 0,997$ (Fig. 8)

Figura 8: Gráfico comparativo de temperatura da água:

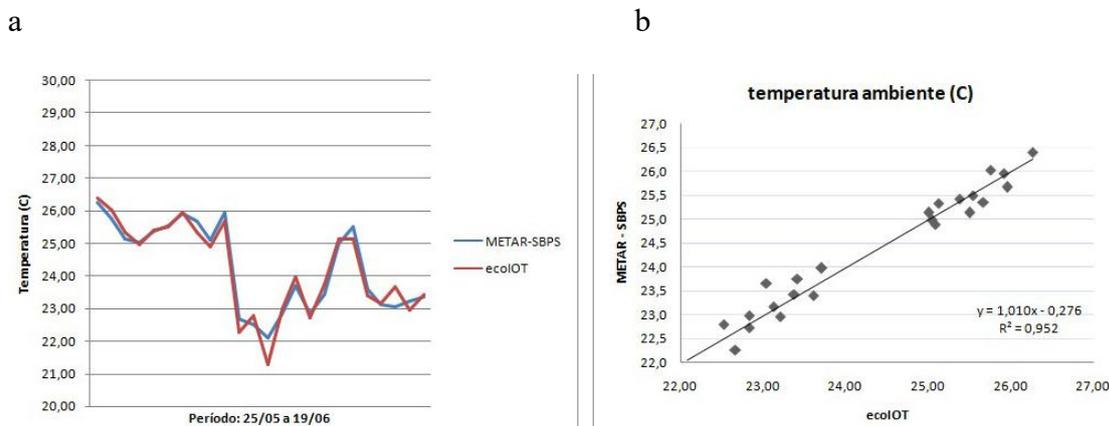


Legenda: a) gráfico comparativo de temperatura da água adquirido com o sistema DST CTD (BERNARDES) e com o eco IoT; b) correlação entre valores coletados pelo DST CTD (BERNARDES), e pelo protótipo ecoIoT.

Fonte: o Autor.

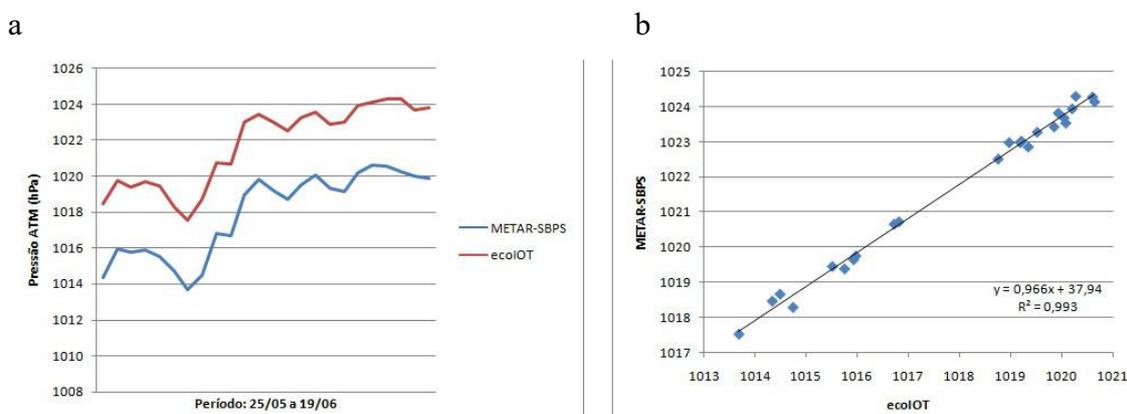
Essa relação tem um alto nível coeficiente de determinação, demonstrando que os dados estão correlatos e a pouca diferenciação dos valores pode significar a necessidades de ajustes na calibração dos dados.

Os próximos dados foram comparados a partir da obtenção dos dados do sistema meteorológico METAR, na estação SBPS (INPE/CPTEC) nas imediações do aeroporto de Porto Seguro (16°26'45.3"S, 39°04'35.8"O, altitude: 51 m), aproximadamente a 1,5km de distância da marina Buranhém.

Figura 9: Gráfico comparativo de temperatura ambiente (AR)

Legenda: a) gráfico comparativo de temperatura ambiente adquirido pela estação meteorológica do aeroporto de porto seguro METAR-SBPS (INPE/CPTEC) e, com o eco IoT; b) correlação entre valores coletados pela estação meteorológica, e pelo protótipo ecoIoT.
Fonte: o Autor.

Os dados da temperatura ambiente coletados pelo protótipo também representaram alta correlação ($R^2 = 0,952$), entre os dados obtidos do sistema meteorológico, a diferença pode ser explicada devida a distância do ponto de coleta e sua altitude (protótipo ao nível do mar).

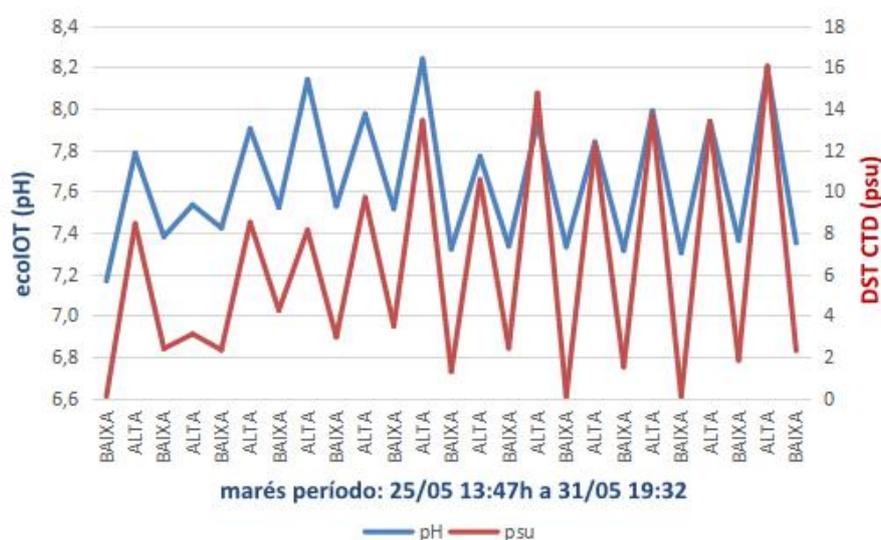
Figura 10: Gráfico comparativo de pressão atmosférica:

Legenda: a) gráfico comparativo de pressão atmosférica adquirido pela estação meteorológica do aeroporto de porto seguro METAR-SBPS(INPE/CPTEC) e, com o eco IoT; b) correlação entre valores coletados pela estação meteorológica, e pelo protótipo ecoIoT.
Fonte: o Autor

As leituras da pressão atmosféricas coletados pelo protótipo, e os dados da estação meteorológica obtiveram alta correlação ($R^2 = 0,993$), a variação se manteve dentro de uma constante, demonstrando que a diferença dos valores pode ser explicada por falta de calibração, ou correção via software pois a biblioteca do sensor BMP180 possui uma função específica para ajustes para leituras ao nível do mar.

O pH do rio (Fig. 11) segue as flutuações da maré, aumentando o pH na maré alta (misturando-se com mais água do mar alcalina) e uma diminuição no pH com a maré baixa, com predominância do pH do rio. Está relacionado também a altura das marés, o aumento do nível de salinidade (psu) coletados pelo sensor DST CTD (BERNARDES, no prelo). Este parâmetro é importante pois demonstra que o monitoramento em tempo real do protótipo é eficaz para estimar a manutenção da qualidade da água de qualquer desvio, os dados históricos da maré foram obtidos no site: <<https://tabuademares.com/br/bahia/porto-seguro>>

Figura 11: Relação entre nível de pH e Marés



Legenda: Relação do valor de pH (dados eolIOT) e salinidade em psu - dados DST CDT (BERNARDES) com ciclo das marés, correspondidos entre os dias 25/05 e 31/05.

Fonte: www.tabuademares.com.br / adaptado pelo Autor.

Os resultados a seguir detalham alguns pontos observados sobre o funcionamento protótipo eolIOT ao longo das campanhas, que permitiram seu aperfeiçoamento, e solução de problemas.

Fotoreistor LDR / Sensor de luminosidade BH1750

O Fotoreistor foi inserido no protótipo com a intuito de relacionar a intensidade de irradiação solar a eficiência de carga das baterias, na campanha 1 foi observado que o nível de detalhe absorvido pelo sensor seria insuficiente, o fotoreistor tem a capacidade no intervalo de coletas detectar se existe ou não a presença de luz. A partir da campanha 2 o LDR foi substituído por um sensor de luminosidade BH1750

com capacidade de medição de 0 a 65535 lux. Os dados apresentados pela figura 12 compara as leituras do fotoresistor LDR na campanha 1 (a), com as leituras obtidas no sensor BH1750 na campanha 2 (b), no intervalo entre 05:30h às 17:40h.

Figura 12: Comparativo entre eficiência dos sensores de luminosidade

a) fotoresistor LDR



b) sensor de luminosidade BH1750



Fonte: o Autor.

Apesar de se tratarem de dias diferentes os gráficos demonstram como o nível de detalhe não era satisfatório para pesquisa. Os valores foram normalizados para comparação pelo LDR, este funciona criando uma resistência na tensão (v) recebida, essa resistência foi convertida em um percentual (onde $3,3v = 100\%$). Para o sensor BH1750 a intensidade luminosa detectada foi convertida, onde 65535 lux corresponde a 100%.

Baterias e Alimentação Solar

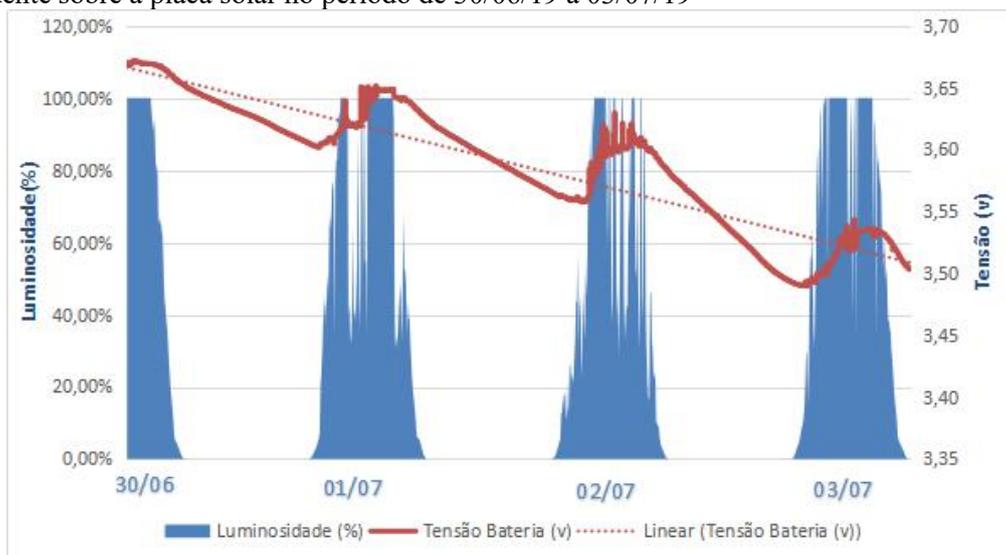
A eficiência da operação de painéis solares fotovoltaicos depende das condições de irradiação solar e temperatura a que o painel está submetido, sendo que a variação de irradiação afeta a corrente gerada e a temperatura na tensão máxima de saída (SANTAMARIA et al., 2018) e (NETO et al., 2016). Em condições ideais conhecidas como *MPP: maximum power point* (ponto máximo de operação), os “mini” painel solar utilizado no protótipo apresenta: Potência máx 1w; Tensão máx (Voc) 7v; Corrente máx 200mA. Em condições reais de operação a eficiência de painéis solares são mais baixas do que as apresentadas nos testes *STC (Standard Test Conditions)* que constam nas especificações do fabricante (SANTAMARIA et al., 2018, p.5), colocados esses fatores se fez necessário a utilização de um regulador de tensão DC-DC, como maneira de melhorar o funcionamento do conjunto. A utilização de reguladores DC-DC é descrita

como uma das maneira de potencializar o funcionamento de sistemas fotovoltaicos (WU et al., 2017, p.3) .

A opção pelo uso de baterias de íons de lítio foi devido ao fato desta ser uma bateria de baixa manutenção em comparação a outras baterias, têm um desempenho de cargas e descargas melhor e é amplamente utilizada nos dispositivos móveis, laptops etc. Apesar da capacidade suas células suportarem vários formatos (lítio-polímero), o modelo com melhor custo-benefício são os formatos cilíndricos encontrados nos modelos 18650 usadas no protótipo conforme apresentado no website Battery University (2017). Baterias de lítio dependem para seu carregamento e aumento de sua vida útil um circuito de proteção que fornece corrente constante com tensão constante (CC-CV) no carregamento, e que não permite que sua tensão durante a descarga fique abaixo de 2,5v o que causaria um desgaste levando a sua inutilização, segundo o Ato nº 951, Item VII que define a capacidade nominal das baterias de lítio ANATEL(2018), no protótipo foi escolhido um modelo de carregador de baterias de íons de lítio com circuito de proteção o TP4056.

A utilização de baterias íons de lítio recarregáveis permitiu um período contínuo de funcionamento, porém o alto consumo do protocolo WiFi (802.11) em monitoramentos de longa duração, necessitam de um dimensionamento adequado de quantidade de painéis solares e baterias, a figura 13 é um recorte de alguns ciclos de funcionamento do sistema de alimentação contínua do protótipo ecoIOT (30/06 a 03/07), a luminosidade (%) que incidiu sobre as placas solares não gerou tensão (v) suficiente para evitar uma queda linear da tensão da bateria.

Figura 13: Recorte entre os níveis de tensão (v) da bateria e percentual de luminosidade (%) incidente sobre a placa solar no período de 30/06/19 a 03/07/19

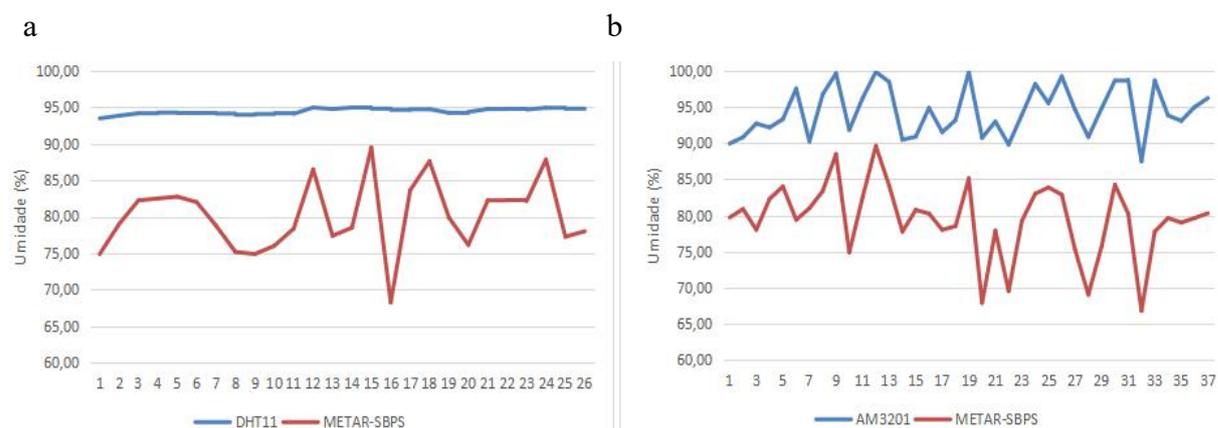


Fonte: o Autor.

O observado pelos testes energéticos condizem com o observado na literatura, onde as condições meteorológicas são determinantes para o funcionamento do sistema, e uma alternativa de melhoria seria um sistema reserva de alimentação, como proposto por Wu et al. (2017, p.12).

Sensor de Umidade relativa do ar

Foi utilizado inicialmente no protótipo o sensor digital de umidade relativa do ar DHT11, o porém o mesmo apresentava leituras constantes acima da casa dos 90%, o que demonstrou ser alguma falha no sensor, ou falta de sensibilidade, depois da campanha 1, o sensor foi substituído por um sensor mais robusto o AM2301. A figura 14a compara as leituras médias diárias de umidade relativa (%) realizadas pelo sensor DHT11 e as médias diárias dos níveis de umidade medidos pela estação METAR-SBPS(INPE/CPTEC).

Figura 14: Comparativo entre sensores de umidade relativa do ar

Legenda: a) Leituras de umidade relativa do ar (%) realizadas pelo sensor DHT11 na campanha 1 comparadas as medições do METAR-SBPS(INPE/CPTEC). b) Comparação das medições do sensor AM2301 na campanha 4 comparadas as medições do METAR-SBPS(INPE/CPTEC).

Fonte: o Autor

As leituras obtidas com o sensor AM2301, demonstrada na figura 14b, estiveram mais próximas dos valores medidos pela estação meteorológica, existe uma correlação ($R^2=0,68633$) entre os valores medidos, sua diferença pode ser explicada pelo posicionamento do sensor muito próximo ao corpo d'água, gerando assim níveis maiores de umidade.

Análise de dados em tempo real

A possibilidade de análise de dados em tempo real emerge uma gama de opções e soluções através do QR CODE posicionado no píer as condições medidas no local poderiam ser consultadas em tempo real, com o processamento na nuvem da plataforma gratuita *Thingspeak* juntamente com as análises estatísticas do MATLAB poderia-se relacionar as condições medidas com médias históricas, e agir em casos de emergência ou desvio grande de parâmetros. Nos testes realizados utilizou-se o recurso *Thingtweet* de envio de mensagens diretas através da rede social twitter (https://twitter.com/eco_IOT) para aviso caso o protótipo ecoIOT estivesse num intervalo maior que 30 minutos sem enviar dados, condições ambientais, ou parâmetros também poderiam acionar o envio de mensagens.

Desastres ambientais como Mariana-MG, Brumadinho-MG, e o recente derramamento de óleo no litoral do Nordeste, tragédias assim poderiam ser dirimidas com um monitoramento em tempo real ostensivo juntamente em um sistema

computacional baseado em IA, ferramentas das quais já estão amplamente disponíveis ao público geral.

Custos de montagem do Protótipo

Os dados coletados pelo protótipo e os dados que foram correlacionados com outras fontes demonstram que o protótipo pode atender, mediante a calibração e outras ferramentas estatísticas de tratamento na coleta, o propósito de ser uma alternativa de menor custo para monitoramento em tempo real de parâmetros ambientais. A Tabela 02 é um levantamento de custos aproximados da construção de um protótipo ecoIOT.

Tabela 2: Preço dos materiais do protótipo ecoIOT

Material	quantidade	Valor total (R\$)
Placa Esp8266 Nodemcu V3 Esp12 Wifi 802.11 B/g/n /	1	20,99
Shield Base Alimentação Para Esp8266 Nodemcu	1	21,00
Modulo Analogico Digital Ads1115 16 Bit I2c	1	22,49
Sensor de temperatura Ds1820	2	43,80
Sensor Temperatura E Umidade - Am2301	1	34,58
Barômetro Bmp180 Sensor De Pressão E Temperatur	1	9,51
Sensor Luz Luminosidade Bh 1750 Fvi	1	18,90
Sensor Ph - Módulo De Leitura Ph-4502c + Eletrodo S	1	135,89
Mini Painel Placa Solar 5v 250ma 1.25w	4	135,96
Regulador De Tensão 1.5 A 5v Usb 600ma	1	13,00
Mini Carregador De Bat De Litio Micro Usb 5v 1a Tp40	1	10,90
	1	17,00
Módulo Conversor Dc-dc Step Up Boost Tensão Mt36	1	13,45
Caixa Hermética P/ Poste Padrão Telecom Estriada -	1	13,48
Total:		510,95

Fonte: Mercado Livre (*site*)

Nota: Preços praticados em outubro 2019

Em comparação com outros equipamentos, sondas multiparâmetros mais simples podem ser encontradas no mercado livre a partir de R\$ 1500,00 já equipamentos como o DST CTD tem um preço mais elevado e foi encontrado no website Microdaq.com pelo preço de U\$ 1320,00². Nenhum dos casos citados tem a possibilidade de um monitoramento em tempo real, permitindo que sejam detectadas as mínimas flutuações dos parâmetros, ou são autônomos energeticamente.

² website: <<https://www.microdaq.com/star-oddi-conductivity-depth-pressure-temperature-data-recorder.php>> Acesso em 20/10/19

Troubleshooting: A solução de problemas em tempo real

Estando o protótipo conectado à nuvem e enviando dados em tempo real, permitiu que ações de correção e mudança no protótipo, casos já citados como a troca do sensor de umidade DHT11 pelo sensor AM2301 e, o fotoresistor LDR substituído pelo sensor de luminosidade BH1750, outras dificuldades foram encontradas ao longo do período dos testes e coleta em campo esta seção visa discutir como foram contornadas.

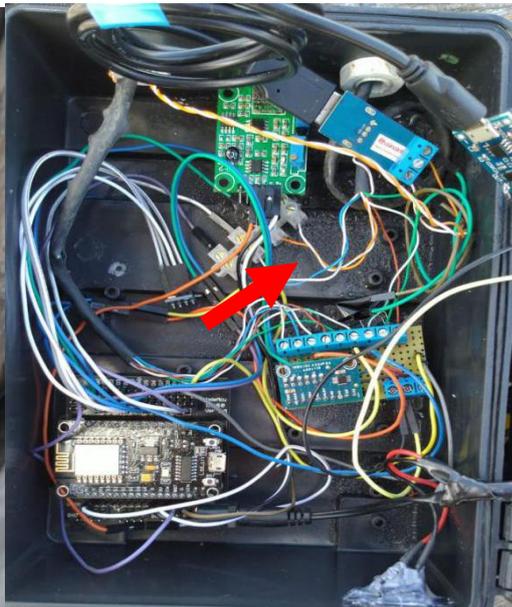
Os períodos de campanha 2 e 3, foram curtos em relação aos períodos 1 e 4, isso se deu a alta condensação na parte interna da caixa hermética, causada por uma mudança no seu posicionamento a fim de facilitar o acesso para manutenções. A caixa como demonstra a figura 15 foi posicionada na parte externa do píer, causando uma incidência maior do sol nascente diretamente na caixa hermética.

Figura 15: Condensação causada pela exposição da caixa hermética ao sol.

a



b



Legenda: a) Caixa hermética fixada na lateral do píer flutuante, pelo lado externo.
b) Condensação acumulada dentro da caixa hermética (seta)

Fonte: o Autor.

A condensação interna da caixa hermética (Figura 15b) também danificou o módulo ADS1115, impossibilitando as leituras de tensão de bateria na campanha 4, outro equipamento danificado pela condensação foi o sensor de luminosidade BH1750, que também não registrou medições na campanha 4. O problema foi contornado com a

adição de desumidificantes de sílica em gel na caixa hermética, o aumento do espaço entre as extremidades da caixa e os componentes eletrônicos, e, por fim o reposicionamento da caixa na parte interna do píer.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O sistema se mostrou de fácil implementação, e rápida montagem porém de possibilidades inúmeras. Visando seu melhor funcionamento e aproveitamento máximo, algumas ressalvas podem ser observadas: Um melhor dimensionamento energético se faz necessário, a fim de prolongar o funcionamento do sistema ou dimensionar ao período de estudo; Em casos onde são necessárias a gravação contínua de parâmetros é imprescindível um sistema de armazenamento local através de um cartão de memória dos parâmetros medidos, e assim evitar que as falhas de comunicação com a nuvem evitem a gravação dos dados; Também foram observadas pequenas variações nas leituras principalmente se tratando de sensores analógicos, mais propensos a interferência das flutuações de tensão(v) e corrente (A), dado esse fato é necessário a calibração conjunta dos sensores, e sendo alimentados energeticamente pelo mesmo sistema a ser utilizado em campo.

Conclui-se que o protótipo colocou a prova que: a) se valendo de ferramentas gratuitas de serviço na nuvem; b) um protótipo de baixa complexidade de montagem e implementação; c) código *open-source*, valendo-se de bibliotecas já existentes e seu código fonte padrão e; d) aliado ao seu baixo custo, pode-se realizar um monitoramento ambiental em tempo real consistente, que permitiu a ação rápida na correção dos problemas, comprovando que o protótipo pode fazer frente a soluções robustas e estabelecidas no mercado, e ir além, permitindo a coleta dos dados, análise em tempo real e a consequente tomada de decisão.

Com a divulgação de todo o processo, esquemas, código e a discussão sobre o protótipo, os objetivos do presente trabalho, em criar uma ferramenta *open-source* de monitoramento ambiental foram atingidos de maneira satisfatória.

7. PERSPECTIVAS FUTURAS

Pensando em um processo de melhoria contínua, o protótipo ecoIOT poderia ser expandido para funcionar com mais sensores, os exemplos e seus respectivos custos são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 3: Materiais ecoIOT 2.0

Material	Preço (U\$)	Disponível em:
Sensor de Oxigenio Dissolvido	169.00	https://www.dfrobot.com/product-1628.html
Sensor ORP (Oxidation-Reduction Potential)	89.05	https://www.dfrobot.com/product-1071.html
Sensor de Sólidos Dissolvidos	12.90	https://www.dfrobot.com/product-1662.html
Sensor de Turbidez	9.90	https://www.dfrobot.com/product-1394.html
Sensor de Pressão de água	12.90	https://www.dfrobot.com/product-1675.html
Sensor Infravermelho CO2 (0~5000 ppm)	58.00	https://www.dfrobot.com/product-1549.html
Sensor Laser de partículas suspensas (AR)	46.90	https://www.dfrobot.com/product-1272.html

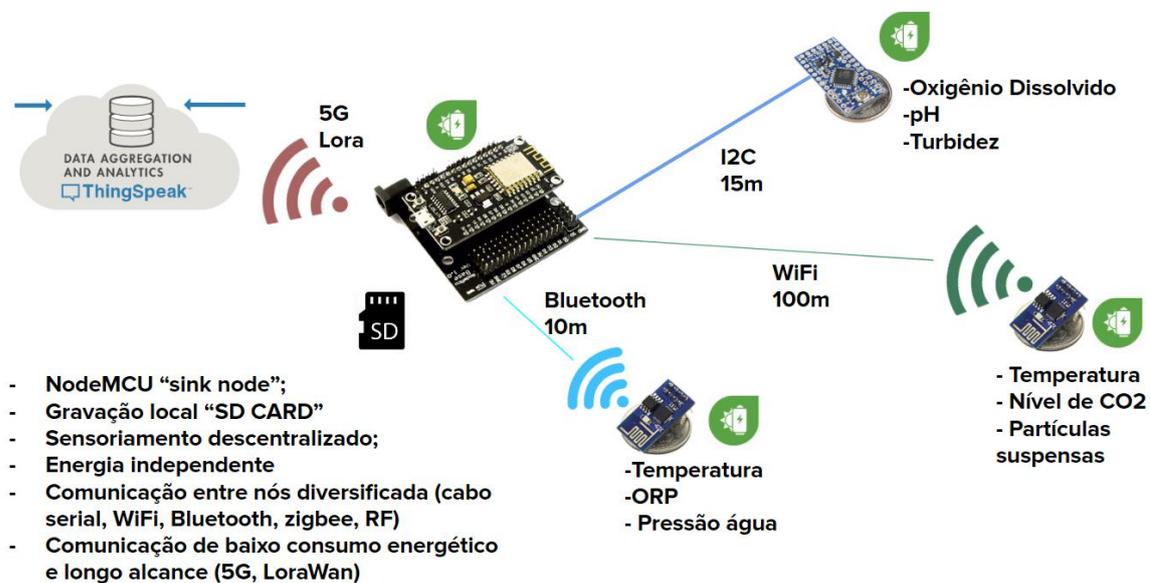
Fonte: dfrobot.com

A mudança no protocolo de comunicação é primordial para dispositivos IoT, a utilização do WiFi 802.11 tem um alto custo energético, e curto alcance, tecnologias emergentes de LPWAN vem se popularizando e representam um grande avanço para soluções de monitoramento ambiental em tempo real.

Uma nova topologia descentralizando as funções, também poderia ser empregada as microcontroladoras baseadas em arduino (*boards*) são a parte “barata” do sistema então em uma situação onde múltiplos parâmetros ambientais devem ser coletados pode-se dividir em mais de uma *board* os sensores, e uma concentradora coletaria as informações das demais e enviaria os dados a nuvem. De maneira descentralizada as flutuações de tensão não interferiram nas leituras entre sensores, e o processamento distribuído melhoraria o desempenho e confiabilidade do conjunto.

O desenho esquemático na Figura 16 a seguir demonstra como poderia ser esse sistema aprimorado.

Figura 16: Esquemático de sistema aprimorado com coleta descentralizada, gravação local e envio de dados através de LPWAN.



Fonte: o Autor.

REFERÊNCIAS

ALAMER, Ghadah; ALYAHYA, Sultan. Open Source Software Hosting Platforms: A Collaborative Perspective's Review. **JSW**, v. 12, n. 4, p. 274-291, 2017.

ANATEL. **Ato 951**, 2018 Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-certificacao/2018/1189-ato-951>> Acesso em 19/02/2019.

ANATEL, **Projeto Celular Legal**, 2019. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/celularlegal/o-projeto>> Acesso em: 18/02/19

ARDUINO, Website, Disponível em: <<http://www.arduino.cc>> Acesso em 16/10/2019.

Battery University - "What's the best battery", disponível em: <http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery> Acesso em 16/10/2019.

BENTO, Antonio Carlos. INTERNET DAS COISAS: UM EXPERIMENTO COM AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL PARA AULAS DE ROBÓTICA. **ARTEFACTUM-Revista de estudos em Linguagens e Tecnologia**, v. 16, n. 1, 2018.

BERNARDES, Marcos Eduardo Cordeiro; MIRANDA, Luiz Bruner de. Circulação estacionária e estratificação de sal em canais estuarinos: simulação com modelos analíticos. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 49, n. 1/2, p. 115-132, 2001.

BERNARDES, Marcos Eduardo Cordeiro; CNPq; Diagnóstico e monitoramento ambiental do estuário do rio Buranhém e região costeira adjacente, Porto Seguro/BA. (no prelo)

BRASIL. **Decreto nº 9.854**, de 25 de junho de 2019. Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e dispõe sobre a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet das Coisas.

CHAQFEH, Moumena; MOHAMED, Nader. Challenges in middleware solutions for the internet of things. In: **Collaboration Technologies and Systems (CTS)**, 2012 International Conference on. IEEE, 2012. p. 21-26.

CPTEC/INPE; **Banco de dados de informações meteorológicas**. Disponível em : <<http://bancodedados.cptec.inpe.br/downloadBDM/consulta.jsp>> Acesso: 22/10/2019

CROW, Brian P. et al. IEEE 802.11 wireless local area networks. **IEEE Communications magazine**, v. 35, n. 9, p. 116-126, 1997.

DOUKAS, Charalampos; MAGLOGIANNIS, Ilias. Bringing IoT and cloud computing towards pervasive healthcare. In: **2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing**. IEEE, 2012. p. 922-926.

EVANS, Brian. *Beginning Arduino Programming: Writing Code for the Most Popular Microcontroller Board in the World*. **Technology In Action**, Apress, New York, 2011.

EVANS, Dave. *A Internet das Coisas: como a próxima evolução da Internet está mudando tudo*. **CISCO IBSG**, 2011.

FANG, Shifeng et al. An integrated system for regional environmental monitoring and management based on internet of things. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 2, p. 1596-1605, 2014.

FREE SOFTWARE FOUNDATION. **O que é o software livre?** 2016. Disponível em: <<https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>>. Acesso em: 07/04/2017

GERTZ, Emily; DI JUSTO, Patrick. **Environmental monitoring with Arduino: building simple devices to collect data about the world around us**. " O'Reilly Media, Inc.", 2012

GORE, Shreya et al. Review on Programming ESP8266 with Over the Air Programming Capability. **International Journal of Engineering Science**, v. 3951, 2016.

GUBBI, Jayavardhana et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future generation computer systems**, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013.

HAIGHT, Richard; HAENSCH, Wilfried; FRIEDMAN, Daniel. Solar-powering the Internet of Things. **Science**, v. 353, n. 6295, p. 124-125, 2016.

IDC (Org.). **Worldwide Internet of Things Forecast, 2015-2020**. 2015. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20170710134439/http://www.idc.com:80/infographics/IoT>>. Acesso em: 18/02/2019.

ITU: International Telecommunication Union (Org.). **NEW ITU STANDARDS DEFINE THE INTERNET OF THINGS AND PROVIDE THE BLUEPRINTS FOR ITS DEVELOPMENT**. 2012. Disponível em: <<http://www.itu.int/ITU-T/newslog/New+ITU+Standards+Define+The+Internet+Of+Things+And+Provide+The+Blueprints+For+Its+Development.aspx>>. Acesso em: 30/03/2017.

KOTSEV, Alexander; PANTISANO, Francesco; SHADE, Sven; JIRKA, Simon. **Architecture of a Service-Enabled Sensing Platform for the Environment**. Disponível em: < <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/2/4470/htm>>; Acesso em: 30 set. 2019.

LAZARESCU, Mihai T. Design of a WSN platform for long-term environmental monitoring for IoT applications. **IEEE Journal on emerging and selected topics in circuits and systems**, v. 3, n. 1, p. 45-54, 2013.

LINKLABS. **Low Power, Wide Area Networks**. Whitepaper, Disponível em: <<https://www.link-labs.com/lpwan>> p. 16, 2016.

MARGOLIS, Michael. **Arduino cookbook: recipes to begin, expand, and enhance your projects**. " O'Reilly Media, Inc.", 2011.

MATHWORKS, **Thingspeak Documentation**, Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/thingspeak/product-description.html>> Acesso: 18/02/19

MAUREIRA, Marcello A. Gómez; OLDENHOF, Daan; TEERNSTRA, Livia. **ThingSpeak—an API and Web Service for the Internet of Things**. Leiden Institute of Advanced Computer Science, 2011.

MILLER, Gabriel; BERNARDES, MEC. **Análise de dados físico-químicos no estuário do rio itambuca em Ubatuba–SP**. VI CBO - Congresso Brasileiro de Oceanografia, Itajaí - SC, 2014

MONDAL, Saroj; PAILY, Roy. Efficient solar power management system for self-powered IoT node. **IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap**, v. 64, n. 9, p. 2359-2369, 2017.

MONK, Simon. **30 Projetos com Arduino-2**. Bookman Editora, 2014.

NETO, Joao Teixeira Carvalho; SALAZAR, Andres Ortiz; LOCK, Alberto Soto. One Cycle Control Based Maximum Power Point Tracker Applied in Photovoltaic Systems. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 2, p. 602-609, 2016.

NODEMCU TEAM. NodeMCU -- An open-source firmware based on ESP8266 wifi-soc. [S.l.], 2017. Disponível em: <http://nodemcu.com/index_en.html>. Acesso em: 06/12/2017.

OTHMAN, Mohd Fauzi; SHAZALI, Khairunnisa. Wireless sensor network applications: A study in environment monitoring system. **Procedia Engineering**, v. 41, p. 1204-1210, 2012.

RIFKIN, Jeremy. **The zero marginal cost society: The internet of things, the collaborative commons, and the eclipse of capitalism**. Palgrave Macmillan, 2014.

ROZSA, Vitor et al. **O paradigma tecnológico da Internet das coisas e sua relação com a Ciência da Informação**. , v. 27, n. 3, 2017.

SANTAMARIA, Marciano et al. Proposal Design of an Open Source Automated System for Photovoltaic Panels Characterization by Electronic Charge Method. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, n. 6, p. 1644-1649, 2018.

SANTOS, Bruno P. et al. **Internet das coisas: da teoria à prática**. Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, p. 31, 2016.

SETHI, Pallavi; SARANGI, Smruti R. Internet of things: architectures, protocols, and applications. **Journal of Electrical and Computer Engineering**, v. 2017, 2017.

SILVA, Ana Carolina Rodrigues de Sá. Hidrodinâmica do Estuário do Rio Buranhém, Porto Seguro–Bahia. 2016.

STATISTA. **Internet of things (iot):** number of connected devices worldwide from 2012 to 2020 (in billions). , 2012. Disponível em: <<http://https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>>. Acesso em: 07/04/2017.

XU, Guobao; SHEN, Weiming; WANG, Xianbin. Applications of wireless sensor networks in marine environment monitoring: A survey. **Sensors**, v. 14, n. 9, p. 16932-16954, 2014.

WORTMANN, Felix et al. Internet of things. **Business & Information Systems Engineering**, v. 57, n. 3, p. 221-224, 2015.

ZHU, Bi Hua; ZHU, Ying Li. Design of Agriculture Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Network. In: **Advanced Materials Research**. Trans Tech Publications, 2012. p. 1095-1098.