

SPARC: Protótipo para Coleta de Dados de Recursos Hídricos e Elétricos em Campus Conectado

Felipe C. Leal¹, Marcos Vinicius S. Melo², Victor Araujo Lima²,
Rubens de S. Matos Júnior², Alfredo M. Vieira²

¹Universidade Federal de Sergipe - Campus São Cristóvão

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - Campus Lagarto

`felipecarvalho5520@gmail.com`

`{victor.lima091,marcos.melo089}@academico.ifs.edu.br`

`{rubens.junior,alfredo.vieira}@ifs.edu.br`

Abstract. *Facing the need for more efficient management of potable water and electrical energy, this work proposes the use of "smart campus" technologies for academic environments. We investigated how the Internet of Things (IoT) can be employed to monitor the consumption and flow of these resources, aiming to reduce costs, control supply, and facilitate maintenance. For this purpose, we developed prototypes with diverse sensors, constructed using 3D printing. A crucial point of the project was the implementation of an authentication system for IoT devices, ensuring data integrity. The research demonstrates the effectiveness of this solution not only in educational institutions but in a variety of contexts.*

Resumo. *Diante da necessidade de uma gestão mais eficiente de água potável e energia elétrica, este trabalho propõe o uso de tecnologias de "smart campus" para ambientes acadêmicos. Investigamos como a Internet das Coisas (IoT) pode ser empregada para monitorar o consumo e o fluxo desses recursos, visando a redução de custos, o controle da oferta e a facilitação de manutenções. Para isso, desenvolvemos protótipos com sensores diversos, construídos com impressão 3D. Um ponto crucial do projeto foi a implementação de um sistema de autenticação para os dispositivos IoT, assegurando a integridade dos dados. A pesquisa demonstra a eficácia dessa solução não apenas em instituições de ensino, mas em uma variedade de contextos.*

1. Introdução

A água potável é um bem valioso que merece atenção e cuidados para sua preservação. Entretanto, pesquisas feitas no ano de 2022, pela Organização Mundial da Saúde (OMS), Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) e Banco Mundial, concluíram que 25% da população ainda não tem acesso a água potável [ONU 2022]. As mudanças climáticas acabam agravando a intensidade das secas e inundações, que causam a insegurança hídrica, interrompem o abastecimento de água e arrasam comunidades.

Atualmente existem diversas leis cujo o objetivo é proteger os recursos hídricos. Em 1981, foi elaborada a Lei nº6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio

Ambiente - PNMA e estabelece em seu art.4º que esta visará: "[...]VI - à preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida"[BRASIL 1981]. Dessa forma, em ambientes tais como prédios, pode-se observar que problemas estruturais são os principais causadores dos desperdícios de água [Sánchez et al. 2016]: vazamentos invisíveis, problemas estruturais em caixas de alvenaria ou uso indevido da água. Há um alto índice de desperdícios também em casas de zonas periféricas, devido à precarização das instalações. Levando isto em consideração, é fato que há tempos a água se constitui em recurso estratégico para a humanidade, pois além de manter a vida no planeta e objeto que impulsiona o desenvolvimento econômico, sociocultural e ecológico, assim sendo segundo [Veriato. 2015], há uma alta ameaça hídrica que atinge grandes áreas do planeta, levando insegurança e ameaça a biodiversidade, estas áreas são caracterizadas por zonas de alta densidade urbana assim trazendo desafios para a conservação e consumo de água.

Em suma, a energia elétrica também é essencial para quase todas as atividades do cotidiano de empresas e residências, porém, muitas vezes, ela é desperdiçada devido a maus hábitos ou defeitos em equipamentos. Dessa maneira, a razão de considerar que é possível obter um melhor gerenciamento do consumo em instituições de ensino ou empresas de médio a grande porte é através da setorização da medição aliada à automatização por meio de microcontroladores, uma vertente indispensável em qualquer meio acadêmico. A medição de consumo por setores permite aos gestores da organização identificar elevações repentinas no consumo, que podem sinalizar desperdício por falta de conscientização, maus hábitos, vazamentos e equipamentos elétricos defeituosos.

Assim sendo, destacam-se projetos para um uso mais sustentável da água, assim como de outros recursos cuja cadeia produtiva impacta diretamente no meio ambiente, como a energia elétrica. Sendo assim, este artigo apresenta um protótipo que foi criado com o objetivo de monitorar o fluxo de água e o consumo de energia elétrica em diversos pontos de uma instituição de ensino, utilizando tecnologias típicas do que chama-se atualmente de Internet das Coisas (IoT - Internet of Things). Os principais benefícios do uso dessa abordagem seriam: (1) Estimativa de Custo; (2) Controle de Disponibilidade; (3) Manutenção (detecção de vazamentos e equipamentos defeituosos e acionamento de reparos).

A tomada de decisão em tal contexto depende de quão confiáveis são as fontes de dados recebidos. A aplicação de aspectos de segurança em tais sistemas é desafiadora por causa dos dispositivos descentralizados, distribuídos e com recursos limitados. É um desafio proteger os sistemas de IoT de ataques que geralmente visam à construção de *botnets* ou outros propósitos perigosos. Se um invasor assumir o controle de um dispositivo de medição, ele pode enviar dados falsos para os servidores e tentar obter acesso ao servidor injetando código malicioso ou se beneficiar de falhas no protocolo de coleta de dados.

Este artigo tem como objetivo apresentar o design, prototipação e implementação de uma opção segura e econômica que pode ser implementada em edifícios inteligentes para indústria, comércio e ambientes residenciais. A solução proposta compreende um conjunto de dispositivos, software embarcado e mecanismos de segurança, integrados juntamente com uma *API* e *dashboard* para processar, armazenar e exibir informações relevantes sobre o consumo de água e de eletricidade, mas que também é capaz de hos-

pedar outros dados monitorados, tais como a concentração de gases em determinados ambientes.

2. Fundamentação teórica

Em 2015, na “Agenda 2030”, uma cúpula da Assembleia Geral da ONU definiu metas para guiar o mundo a um caminho de desenvolvimento sustentável, partindo de dimensões sócio econômicas e ambientais [ONU 2015]. Nesse viés, sustentabilidade é o equilíbrio entre o suprimento das necessidades humanas e a preservação dos recursos naturais, explorando-os, sem que haja o comprometimento das gerações futuras [Medeiros 2022].

Sendo assim com a ascensão de novas medidas de desenvolvimento sustentável e com a crescente discussão acerca da eficácia na gestão de recursos naturais, emergem soluções que envolvem a utilização de tecnologias que promovem interconexão entre todas as coisas [Gomes 2020]. Dessa concepção, surge a Internet das Coisas, que se refere a dispositivos conectados entre si que coletam, analisam e trocam informações em tempo real. Atrelar o uso das IoT's aos pilares da sustentabilidade e à gestão de tais recursos desempenha um papel importante na construção de um futuro ecologicamente correto. A “gestão inteligente” de recursos, por meio de IoT, permite que se possa garantir abastecimento adequado de água e contribui no uso da tecnologia para a gestão de recursos naturais, com a previsão de possíveis eventos extremos, a utilização eficiente desses recursos e o gerenciamento prático em sistemas de abastecimento [Caires and Ambiental 2022].

Visando a adoção de boas práticas para a conservação de bens como a água, avaliar e monitorar os gastos desse recurso ajudam na compreensão da atual situação de consumo e as possíveis tendências futuras. Um recente projeto realizado por pesquisadores da escola politécnica da UFBA (Universidade Federal da Bahia) em 2016, propunha um sistema inteligente para medição do consumo de água e detecção de vazamentos acoplado à parte hidráulica de qualquer prédio. Esse estudo apontou que o consumo excessivo de água em prédios representava um importante fator na gestão de gastos públicos [Sánchez et al. 2016]. Dessa forma, desenvolveram um protótipo que fazia leitura diária do consumo de água nessas instalações e disponibilizava em um site de acesso público. Por consequência dessa aplicação, a UFBA e o CAB (Centro Administrativo da Bahia) têm conseguido uma significativa economia nas despesas com água.

No entanto, a necessidade de monitoramento e coleta de dados de forma manual deixa lacunas importantes, principalmente quando se trata da automatização em tratamento de dados. Apesar disso, projetos como o da UFBA, desempenham um importante papel na construção de uma base metodológica robusta, com potencial para inspirar e facilitar o aprimoramento de futuras investigações.

3. Trabalhos Relacionados

Assim como o projeto de pesquisa da UFBA [Sánchez et al. 2016], existem muitas outras propostas e aplicações envolvendo a medição do consumo de água, que contribuem no desenvolvimento de intervenções similares no futuro.

Em 2006, engenheiros da Empresa Baiana de Águas e Saneamento propuseram um sistema de medição individualizada de água. O objetivo era de solução hidráulica, dispensando o uso de tecnologias mais sofisticadas para leitura remota e telecomando,

para a medição individual dos apartamentos populares construídos pela URBIS (Órgão governamental de gestão de projetos de habitação na Bahia), nas Comunidades de Cajazeiras e Fazenda Grande, que tornava a medição mais economicamente viável para a concessionária. A solução, com controle centralizado, permitia a instalação de todos os hidrômetros individuais no “hall” de entrada do prédio, em área externa, em frente dos medidores de energia elétrica. Com essas instalações de hidrômetros, permitiu-se uma maior racionalização de água e a conscientização dos usuários [Marques and Silva 2006].

Já em 2015, com uma proposta similar à nossa, um estudante do Bacharelado em Sistemas de Informação do Centro Universitário Eurípides de Marília, em seu trabalho de curso, esboçou um projeto com uso de Arduino e Sensores de vazão para o racionamento adequado da água, discorrendo sobre a possibilidade do uso das IoT na gestão de recursos hídricos. Em um contexto de problemas de abastecimento de água em várias regiões do Brasil, apresentava-se uma solução de monitoramento de consumo de água residencial composta por módulos medidores, nos pontos consumidores da residência. Uma aplicação web recebe dos sensores informações e as disponibiliza para o usuário final em forma de gráficos de consumo dos determinados pontos da residência. [Alves 2015].

Na Universidade de Campinas, um projeto de campus inteligente produziu uma aplicação de IoT para monitoramento inteligente de distribuição de água [Moura et al. 2019]. Seu trabalho teve como objetivos detectar vazamentos e prever o consumo de água, sendo parte de um conjunto de outras tecnologias habilitadas para IoT para melhorar a rotina diária da comunidade acadêmica.

No trabalho apresentado em [Amurim et al. 2021], é apresentada uma solução para controlar e monitorar o consumo de energia e automatizar serviços acadêmicos, como frequência de alunos por meio de reconhecimento facial. O middleware FIWARE foi integrado à arquitetura da solução para lidar com comunicação heterogênea, armazenamento e processamento de dados de contexto.

Os autores em [Bezerra 2024] abordam os desafios de segurança enfrentados por dispositivos IoT com recursos limitados, especialmente em redes LPWAN. Em seu trabalho, eles propõem um mecanismo de autenticação que combina múltiplos fatores com um sistema de reputação para melhorar a confiabilidade na identificação de dispositivos. O artigo destaca as dificuldades em aplicar métodos tradicionais de autenticação em ambientes restritos, devido às limitações de processamento e energia. Além disso, os autores discutem ataques frequentes nesses cenários e apresentam um modelo de verificação adaptado às restrições dos dispositivos, visando garantir maior segurança com baixo custo computacional.

Em [Almulhim et al. 2019], os autores propõem um esquema de autenticação leve baseado em grupo seguro e eficiente para aplicativos de E-health baseados em IoT; seu esquema autentica e estabelece canais seguros por meio de nós sensores e estação base. O método proposto com um recurso do nó baseado em grupo reduz a distância e a energia consumida, bem como leva à redução do custo de comunicação.

Em suma, esta revisão abrangente de trabalhos relacionados proporciona uma visão geral sobre determinados projetos, não obstante, é notório a lacuna deixada pelos projetos anteriormente citados, sendo assim, de forma geral a segurança dos dados é o pilar para qualquer tipo de sistema. Em síntese, o desenvolvimento de uma transmissão

segura e um dispositivo escalável é requerido pela comunidade acadêmica.

4. Medição Inteligente do Fluxo de Água

A solução de medição de água baseada em IoT foi projetada no âmbito do projeto SPARC (Sistema de Previsão e Análise de Recursos em Campus Conectado). Ela utiliza sensores de fluxo de água, que medem o fluxo de líquido através de tubulações, permitindo o uso desses dados para analisar o uso de recursos hídricos.

A união desses sensores com a tecnologia IoT é um elemento fundamental para possibilitar seu uso em larga escala. O processamento desses dados permite prevenir vazamentos de água, prever consumo e cobranças e aplicar uma gestão ativa, por exemplo, implantando dispositivos capazes de bloquear o fluxo de água. Uma grande variedade de sensores de fluxo disponíveis pode ser integrada a essa abordagem, possibilitando a coleta de dados de várias fontes de um mesmo edifício e, assim, permitindo melhores previsões de qualquer tipo de desperdício de água.

A caixa do dispositivo é feita com um modelo personalizado impresso em 3D. O uso da tecnologia de impressão 3D nos permite prototipar, desenvolver, testar e adaptar rapidamente o dispositivo a qualquer situação, além de facilitar a produção e replicação do dispositivo. A caixa do dispositivo utiliza 39,24g de filamento para ser impressa. Como mostrado na Figura 1, ele utiliza os seguintes componentes: caixa impressa em 3D, microcontrolador ESP8266 NodeMCU, conector P4, interruptor de energia e uma tela OLED monocromática de 0,96 polegadas. O sensor de fluxo é acoplado externamente. Alguns tipos de sensores podem ser conectados, necessitando apenas de pequenas adaptações no código para funcionar corretamente. O sensor utilizado no protótipo atual é o YF-S201, que mede o fluxo de 1-30 L/min.

O tamanho final do protótipo do *mote* (abreviação para *mobile remote device*) SPARC é de 5 cm x 7 cm x 4,5 cm (sem o sensor de fluxo), o que é um tamanho pequeno que nos permite encaixar o dispositivo em quase qualquer local. Dessa forma, é possível instalar dispositivos em todos os edifícios, coletando e analisando dados para os mais diversos fins de gestão.



Figura 1. Mote SPARC Montado

A escolha do ESP8266 NodeMCU como plataforma para o SPARC deve-se principalmente ao fato de ser um microcontrolador barato, com integração WiFi e os pinos

digitais necessários para a conexão dos demais componentes. As conexões de dados são feitas utilizando os pinos D1, D2 e D7, onde os pinos D1 e D2 se referem a SCL (signal clock) e SDA (signal data) da tela oled, e o D7 está conectado ao pino de dados do sensor de fluxo. A alimentação vem de uma entrada de energia P4, que se conecta ao pino de aterramento (diretamente) e ao pino Vin (através de um interruptor de energia), conforme mostrado na Figura 2. O dispositivo SPARC permite a medição setorizada de água em tempo real, implantando uma única unidade em cada ponto de uso de água, em cada andar/edifício de um campus/empresa, sendo cada dispositivo independente dos outros, mas conectando-se via rede WiFi ao servidor que hospeda a API para autenticação dos dispositivos e o painel para visualização de dados. Este design de solução permite distribuir os dispositivos de forma eficiente, garantindo que todas as áreas necessárias estejam sendo monitoradas.

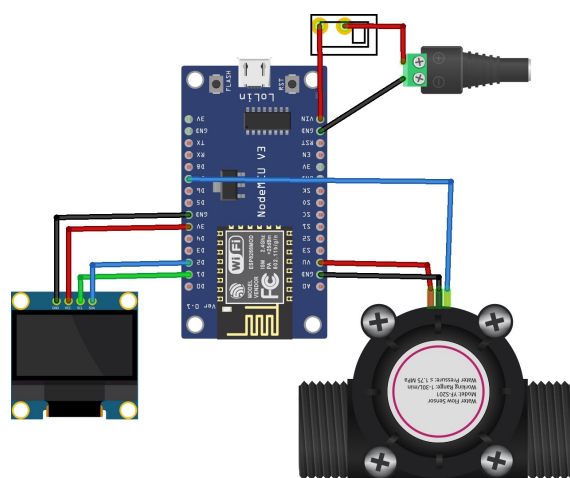


Figura 2. Esquema de montagem do SPARC para medição de água

Na Figura 3, é demonstrado o esquema necessário para montagem da versão do SPARC para medição de consumo de energia elétrica. Essa versão também é baseada no uso do microcontrolador ESP8266 NodeMCU. O sensor de corrente elétrica não-invasivo SCT-013, com capacidade para correntes de até 100A, permite a medição em circuitos e barramentos que fornecem energia para equipamentos ou salas específicas, até setores e prédios inteiros, a depender da necessidade da organização. Um display também é utilizado para exibição dos dados *in loco*, além da visualização de dados de medição armazenados no servidor, que pode ser realizada via *dashboard web*.

É importante mencionar que também foi criada uma versão do mote SPARC para a medição de concentração dos gases do ambiente, tais como dióxido de carbono, monóxido de carbono e metano, além de partículas de poeira, visando um controle da qualidade do ar dentro do contexto do campus conectado. O servidor do SPARC e seu *dashboard web* também estão configurados para receber e apresentar os dados desse tipo de monitoramento.

5. Método de Autenticação e Autorização

A transferência de dados dos sensores para o servidor do SPARC acontece usando os protocolos MQTT e mTLS (MQTTS), permitindo a criptografia de tudo que é enviado.

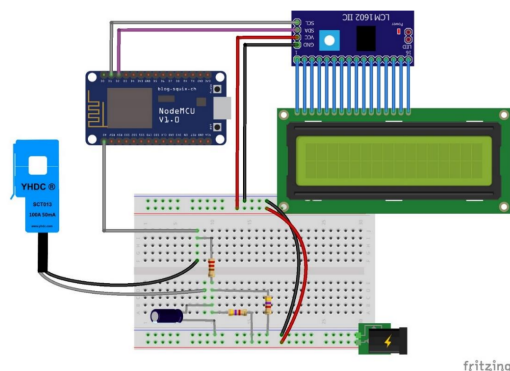


Figura 3. Esquema de montagem do SPARC para medição de energia

O mTLS, ou Mutual Transport Layer Security, no contexto do MQTT, é um método de segurança avançado que garante a autenticação mútua entre o cliente MQTT e o broker MQTT. Em vez de apenas o cliente verificar a identidade do servidor (como acontece no TLS unidirecional comum em websites), no mTLS, o servidor também verifica a identidade do cliente.

O processo começa quando o cliente MQTT tenta se conectar ao broker MQTT. Primeiro, o broker envia seu certificado digital para o cliente. O cliente, então, valida esse certificado para ter certeza de que está realmente se conectando ao broker legítimo e não a um impostor. Uma vez que o cliente confirma a identidade do broker, o broker solicita que o cliente também apresente seu próprio certificado digital. O cliente envia esse certificado, e o broker, por sua vez, o valida. Essa validação garante que apenas clientes autorizados e legítimos possam se conectar ao broker. Assim, tanto o cliente quanto o broker estabelecem confiança mútua.

Somente após essa dupla verificação e validação bem-sucedidas é que um canal de comunicação seguro e criptografado é estabelecido entre os dois. A partir desse ponto, todas as mensagens MQTT trocadas são criptografadas, garantindo a confidencialidade e a integridade dos dados. Os certificados do cliente ficam armazenados no backend da aplicação de forma criptografada para melhor organização.

Uma vez que o dispositivo é autenticado, a transmissão de dados efetiva pode começar. Usando MQTTS, através do tópico `mac-id/data`, o dispositivo envia os dados coletados a cada 5 minutos. O servidor sempre verifica o endereço MAC no tópico para saber a qual dispositivo deve atribuir o dado coletado.

Assim que os dados são transmitidos com sucesso, o dispositivo mote mostra um ícone de sucesso na tela do dispositivo e começa a coletar os dados de consumo novamente, atualizando a tela a cada 5 segundos com a medição mais recente e somando o consumo até completar outra janela de 5 minutos, quando novos dados são enviados para o servidor. Assim que o volume de uso de água dos últimos 5 minutos é recebido no servidor, o consumo total também é calculado e armazenado com a data e hora em que os dados foram recebidos.

O servidor SPARC recebe dados dos medidores de água e armazena o ID do dispositivo associado, o último volume coletado do dispositivo, o volume total coletado do

dispositivo e a data e hora em que o servidor recebeu os dados, conforme mostrado na 1. Esses dados constituem uma fonte confiável para serviços de análise, permitindo prever o consumo, detectar vazamentos de água e tomar melhores decisões sobre como utilizamos nossos recursos hídricos. Se medições falsas fossem introduzidas por usuários maliciosos, a gestão das instalações afetadas seria gravemente prejudicada, perturbando a captura de um panorama real dos padrões de consumo nesse ambiente, causando perda de tempo na busca por anomalias inexistentes ou atrasando a detecção de vazamentos reais e outros problemas. Nosso método seguro de registro de dispositivos e transmissão de dados também previne os perigos de aceitar transmissões de qualquer host na rede, o que poderia facilitar uma invasão ao servidor.

	ID	Última Coleta (L)	Total (L)	Data e Hora
01	1	0.07	0.07	15/06/24 18:45
02	1	0.33	0.4	15/06/24 18:50
03	1	0.10	0.5	15/06/24 18:55
04	1	0.6	1.1	15/06/24 19:00
05	1	0.05	1.15	15/06/24 19:05

Tabela 1. Exemplo de Dados Recebidos Pelo Servidor

6. Conclusão

O projeto SPARC possui uma base sólida construída e já está em uso em um campus do Instituto Federal de Sergipe, proporcionando a confirmação de sua utilidade, enquanto também permite observar as potenciais evoluções necessárias ao mesmo. Algumas das melhorias futuras são o suporte para múltiplos sensores no mesmo dispositivo e uma versão menor do protótipo, sem o display OLED. O sistema de autenticação e autorização também pode ser aprimorado para evitar problemas com conexões que precisem passar por *firewalls* e outros bloqueios de rede, bem como proteger melhor contra ataques do tipo negação de serviço distribuída.

Por fim, enfatizamos que essa tecnologia pode influenciar direta e indiretamente a conservação do meio ambiente. Além disso, ela incentiva a inovação de tecnologias semelhantes com a mesma abordagem. Sendo um projeto focado em sustentabilidade, o código-fonte do projeto pode ser encontrado no GITHUB - <https://github.com/Morea-IFS/morea-ds-web> - como uma forma de incentivar e principalmente disseminar ideias sustentáveis por meio da tecnologia.

Referências

- Almulhim, M., Islam, N., and Zaman, N. (2019). A lightweight and secure authentication scheme for iot-based e-health applications. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 19(1):107–120.
- Alves, R. (2015). Solução de monitoramento de consumo de água residencial. pages 8–25.
- Amurim, A., Silva, J., Ortiz, M., Rego, P., and Souza, J. (2021). Uma solução de iot baseada no fiware para gerenciamento de recursos energéticos e serviços acadêmicos em um campus universitário. In *Anais do V Workshop de Computação Urbana*, pages 265–278, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.

- Bezerra, W. d. R. (2024). Um mecanismo de autenticação com reputação e multi-fator para dispositivos restritos em iot e lpwan. *Universidade Federal de Santa Catarina - Centro Tecnológico*, 1:1–7.
- BRASIL (1981). Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Available at: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6938-31-agosto-1981-366135-publicacaooriginal-1-pl.html>. Accessed at 28/08/2023.
- Caires, L. and Ambiental, B. (2022). Água para todos: como democratizar o acesso a esse recurso natural? Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/agua-para-todos>. Acesso em 27/07/2023.
- Gomes, F. S., P. A. F. . R. P. V. B. (2020). Prototyping a solution to promote energy efficiency in smart environments using iot. *Brazilian Journal of Development*, pages 2–8.
- Marques, J. and Silva, S. (2006). Xi-075 - projeto de medição individualizada de água para os apartamentos dos prédios padrão popular, das comunidades de cajazeiras e fazenda grande - salvador. pages 1–7.
- Medeiros, R. (2022). Sustentabilidade. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/sustentabilidade/>. Acesso em 27/07/2023.
- Moura, C., Sousa, R., and Borin, J. F. (2019). IoT aplicado ao monitoramento inteligente de distribuição de Água. Technical report, Prefeitura da Unicamp.
- ONU (2015). Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em 27/07/2023.
- ONU (2022). 25% da população mundial não tem acesso a água potável. Available at: <https://brasil.un.org/pt-br/204766-25-da-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-n%C3%A3o-tem-acesso-%C3%A1-gua-pot%C3%A1vel-alerta-onu>. Accessed at 28/08/2023.
- Sánchez, A., Cohim, E., and Kalid, R. (2016). Um sistema de monitoramento do consumo de água e detecção de vazamentos facilmente acoplável à instalação hidráulica de qualquer prédio. *BMetrologia*, 286:83–85.
- Veriato., M. K. L. (2015). Água: Escassez, crise e perspectivas para 2050. *Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 1(1):3.