

PC2I: Plataforma Ciberfísica para Irrigação Inteligente por meio de Internet das Coisas

Jammys G. B. da Silva, Jabes S. Santos, Josefa L. M. dos Santos, Carlos E. B. Santos, Tony Silva, Tamilly K. do Nascimento, Felipe A. Lopes

¹Instituto Federal de Alagoas (IFAL)
Laboratório de Engenharia e Análise de Dados (LEAD)
Arapiraca - AL - Brasil

Abstract. *Water is vital to ensure food security for the world population, and agriculture is the largest consuming sector of this resource, using twice as much water as industry and nine times more than citizens in municipalities. The main causes for this water consumption are leaks in the distribution systems and the irrigation itself, which results in waste. In this scenario, this paper proposes an architecture for developing an intelligent platform to monitor water levels required in a given crop and direct an optimized amount of water to the places where the resource is requested. As a contribution, we show how components of the Internet of Things and Machine Learning can be combined in a reusable architecture for smart irrigation.*

Resumo. *A água é vital para garantir a segurança alimentar da população mundial, e a agricultura é o maior setor consumidor desse recurso, utilizando duas vezes mais água que a indústria e nove vezes mais do que cidadãos em municípios. As principais causas para esse consumo de água são os vazamentos nos sistemas de distribuição e a própria irrigação que resulta em desperdício. Nesse cenário, este artigo propõe uma arquitetura de plataforma inteligente para monitorar o nível de água necessário em um determinado cultivo e direcionar uma quantidade de água otimizada para os lugares onde há demanda pelo recurso. Como contribuição, mostramos como os componentes de Internet das Coisas e de Aprendizagem de Máquina podem ser combinados em uma arquitetura reutilizável para a irrigação inteligente.*

1. Introdução

Atualmente, a agricultura gasta duas vezes mais água do que a indústria. Estudos apontam que até 2050 [Parfitt et al. 2010] será necessário um aumento em torno de 60% na produção de alimentos, consumindo a mesma quantidade de água utilizada nos dias atuais. Boa parte da utilização da água na agricultura passa pela má distribuição da irrigação e pelos vazamentos existentes nos sistemas de distribuição.

Tal situação mostra o problema dos sistemas de irrigação quando utilizados de forma arbitrária, gerando a necessidade de aprimorá-los, introduzindo maneiras alternativas e novas tecnologias para que a água seja usada de forma eficiente e sustentável. Nesse contexto, este artigo apresenta uma plataforma de base para o desenvolvimento de irrigação inteligente, a Plataforma Ciberfísica para Irrigação Inteligente (PC2I), fundamentada nos conceitos de Internet das Coisas (i.e., Internet of Things - IoT) e Inteligência

Artificial (IA), provendo uma técnica de irrigação inteligente a ser aplicada em pilotos na cidade de Arapiraca - Alagoas. Para isso, foi introduzida a arquitetura da PC2I, que especifica componentes de software e de hardware voltados para uma irrigação precisa. Essa irrigação se baseia em dados sobre agronomia, solo, clima e umidade, gerando conhecimento para a plataforma. Tal conhecimento é utilizado pela PC2I para possibilitar o consumo racional da água, com menor custo, melhor distribuição e aumento da produtividade.

Como principal contribuição deste artigo, tem-se uma arquitetura reutilizável para combinação de componentes de software e de hardware em uma plataforma voltada para a irrigação inteligente, abrangendo os seguintes pontos: i) direcionamento na utilização de um conjunto de ferramentas IoT combinadas para monitorar, através de drones e de sensores de campo, a necessidade de água do cultivo; ii) processo de definição inteligente do controle de bombas d'água para manejar a quantidade de água para áreas e tipos de cultivo específicos; e iii) especificação de modelos de predição – baseados em Aprendizagem de Máquina (AM) e modelos de balanceamento de água, e.g., ACQUACROP [Steduto et al. 2009]. O restante do artigo possui mais três seções: a Seção 2 discute os métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho; a Seção 3 inclui os trabalhos relacionados; a Seção 4 apresenta os resultados preliminares obtidos; e a Seção 5 faz as considerações finais.

2. Trabalhos Relacionados

Outros trabalhos da literatura possuem objetivos semelhantes à proposta deste artigo. Em [Krishnan et al. 2020], por exemplo, os autores propõem um sistema de irrigação inteligente que ajuda os agricultores a regar seus campos agrícolas usando o Global System for Mobile Communication (GSM), realizando a irrigação baseada em mensagens GSM de reconhecimento sobre os status do trabalho, como: nível de umidade do solo e temperatura do ambiente. O trabalho proposto por [Albuquerque 2019] consiste em um sistema de irrigação inteligente de baixo custo, o método utilizado para a criação do sistema de irrigação foi baseado em Internet das Coisas (IoT) através de uma placa de prototipagem Arduino UNO. De forma similar, [Nawandar and Satpute 2019] apresenta um sistema de irrigação inteligente de baixo custo baseado em rede neural que usa os protocolos MQTT e HTTP para viabilizar informações. Em [Thakare and Bhagat 2018], os autores propõem um sistema de irrigação inteligente econômico baseado em Arduino usando módulo Wi-Fi e diversos sensores que enviam sinais e notificações através da plataforma IoT.

A proposta aqui apresentada se diferencia dos trabalhos anteriores por prever a definição de fatores específicos da cultura que fará uso da plataforma e levar esses fatores em consideração no planejamento inteligente da irrigação. Por exemplo, alguns cultivos perdem água mais rápido que outros. Essa diferença de velocidade na perda hídrica não foi totalmente explorada até aqui.

3. Métodos

3.1. Irrigação Inteligente e Arquiteturas

Este trabalho caracteriza-se pela proposta de uma nova arquitetura, baseada em conceitos e definições da literatura de IoT e irrigação inteligente, adotando-a em uma plataforma de propósito específico; a definição da fonte de energia utilizada não faz parte do

escopo do trabalho. Além do caráter propositivo, o trabalho também apresenta, preliminarmente, uma abordagem experimental de parte da plataforma desenvolvida.

Uma plataforma para irrigação inteligente, segundo [Aleotti et al. 2018], é descrita por diversos subsistemas que interagem entre si para gerenciar a irrigação de um certo cultivo. Por exemplo, os subsistemas podem ser: um software central que agrega informações e invoca serviços (e.g., irrigação, monitoramento), um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou um aplicativo móvel que interage com sensores e irrigadores.

Os autores de [Togneri et al. 2019] propõem que uma plataforma para irrigação inteligente deve possuir uma arquitetura formada por: i) sensores (e.g., VANTs, sensor de umidade) e atuadores (e.g., bombas d'água, irrigadores); ii) dispositivos de conectividade (e.g., roteadores, placas de rede); iii) serviço de nuvem para agregar informações e integrar os demais componentes; e iv) aplicativo móvel para monitorar ou acionar equipamentos. A Figura 1 ilustra a organização desses componentes.

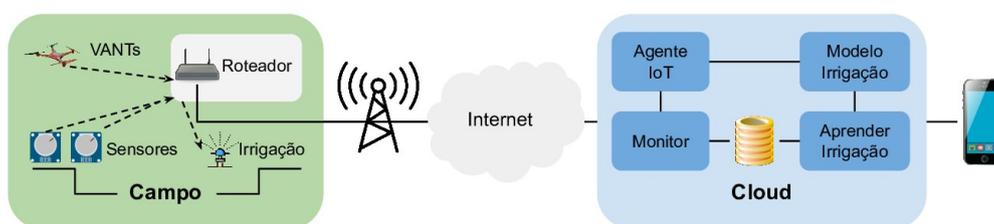


Figura 1. Esquema de uma plataforma de irrigação inteligente.

Fonte: Imagem autoral.

De maneira geral, o conceito por trás das arquiteturas para plataformas de irrigação inteligente é uma combinação entre dispositivos físicos (e.g., sensores e atuadores) e componentes de software que irão gerenciar o contexto do campo. Essa visão é aproveitada neste artigo para a apresentação da PC2I.

3.2. Arquitetura Proposta

A arquitetura reutilizável para irrigação inteligente apresentada aqui considera os três fatores: i) informações sobre a reserva de água disponível, identificando as fontes e a quantidade; ii) forma de distribuição de água, direcionando e especificando a rede de irrigação que deverá ser utilizada para a plantação em questão; e iii) consumo de água, levando em conta aspectos do solo e o aproveitamento de água pela plantação. Esses fatores foram definidos visando que qualquer instância baseada na arquitetura da PC2I consiga verificar os requisitos que irão viabilizar uma irrigação inteligente.

Na arquitetura da PC2I, os três fatores, nomeados: **reserva de água, distribuição de água e consumo de água**, formam o bloco **Parâmetros Hídricos**. Esse bloco conecta-se com 6 camadas (C), sendo 5 hierárquicas - com fluxo de informação bidirecional - e 1 paralela, que servem como base para instanciar a plataforma. A Figura 2 explica essas camadas e ilustra a organização da arquitetura. O serviço de contexto é a camada paralela, responsável por reunir os eventos de todas as camadas, acionando ou obtendo informações dos componentes dessas camadas.

- **Camada 1 (C1) - Serviço de IoT**

A camada de mais baixo nível da PC2I é responsável por abrigar e coordenar os

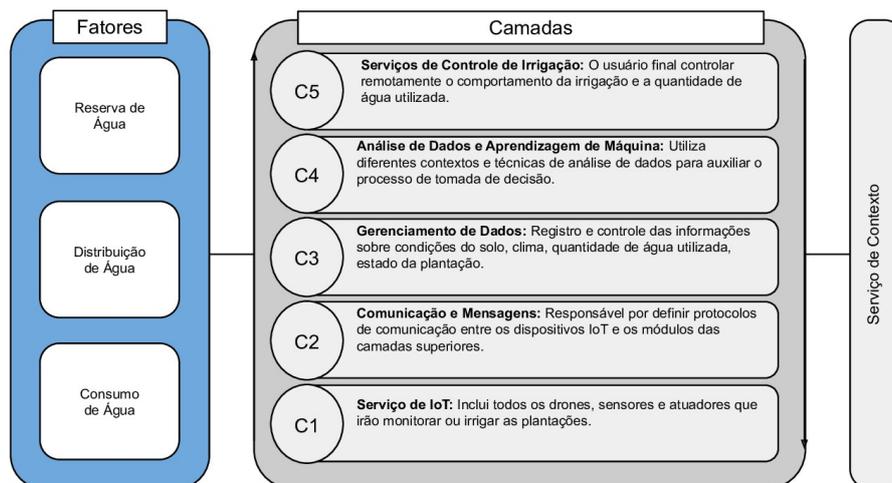


Figura 2. Arquitetura da PC2I.

equipamentos físicos e habilitar os serviços de IoT utilizados pela plataforma. Sincronizar os monitoramentos aéreo e termográfico feitos por drones, a leitura de sensores e o acionamento de atuadores de irrigação são exemplos de atividades desempenhadas nessa camada.

- **Camada 2 (C2) - Comunicação e Mensagens**

Nesta camada podem ser utilizados protocolos de comunicação de dados, tais como: CoAP, MQTT ou HTTP. A definição desses protocolos impacta diretamente tanto na implementação dos dispositivos IoT quanto nos módulos de software das camadas superiores. Questões como o consumo energético e a confiabilidade na transmissão de dados em áreas rurais também devem ser levadas em consideração.

- **Camada 3 (C3) - Gerenciamento de Dados**

Os dados transmitidos pela C2 devem ser armazenados e posteriormente utilizados tanto pelo agricultor quanto pelos modelos de aprendizagem de máquina que irão fornecer recomendações de irrigação ou realizar previsões que possam auxiliar na tomada de decisão.

- **Camada 4 (C4) - Análise de Dados e Aprendizagem de Máquina**

Com os dados armazenados na C3, é possível realizar o treinamento de algoritmos de aprendizagem de máquina e habilitar modelos inteligentes para auxiliar o processo de tomada de decisão.

- **Camada 5 (C5) - Serviços de Controle de Irrigação**

A plataforma é disponibilizada, de fato, na última camada da arquitetura PC2I. É nessa camada, C5, que o usuário final consegue acessar os dados, acompanhar as métricas do cultivo e realizar o planejamento de irrigação das suas culturas.

4. Resultados Preliminares e Esperados

Preliminarmente, a partir de uma análise qualitativa, foi verificado que a organização das camadas definidas na arquitetura da PC2I tem potencial de remover a complexidade no desenvolvimento de plataformas para irrigação. Também foi possível identificar modelos de implementação que permitem à plataforma estar disponível para diversos agricultores, simplificando o processo de implantação. Assim, espera-se que, com a execução desse projeto, seja possível a redução da água utilizada na agricultura e uma otimização da produção, (reduzindo, também, o custo e aumentando os benefícios) a redução de desperdício será proveniente pela taxa de evapotranspiração calculada com os dados monitorados pela plataforma, em conjunto com algoritmos de predição. A expectativa é que, em meados de 2023, instâncias do PC2I já estejam disponíveis para produtores e usuários finais. No entanto, ainda não é possível prever o valor unitário da plataforma, tendo em vista a volatilidade do mercado.

4.1. Avaliação de Protocolos

Um dos experimentos realizados utilizou uma arquitetura cliente-servidor, em que foi possível realizar múltiplos envios de dados entre dispositivos. Esse experimento avaliou protocolos candidatos da camada C1, verificando o desempenho dos três principais protocolos que são comumente utilizados nesse tipo de comunicação, que são eles: CoAP, HTTP e MQTT. Para implementar esse experimento foi utilizada a ferramenta OMNeT++ 6.0 e o *framework* FLoRa 1.0, esses foram executados em uma máquina com processador Intel Core i7 com memória RAM de 4GB. Esse experimento contou ainda com uma rede LoRa com 100 nós (aplicação cliente que de hora em hora notifica dados específicos), na qual cada nó é um cliente conectado à rede, 1 *gateway*¹ para os nós e 1 servidor de aplicação. Os testes duraram 24 horas para cada protocolo, onde a cada 1 hora, os 100 nós realizavam o envio dos dados. Cada nó da rede pode atingir distâncias de até 100 metros com relação ao *gateway*. A Figura 3 ilustra a arquitetura desse experimento.

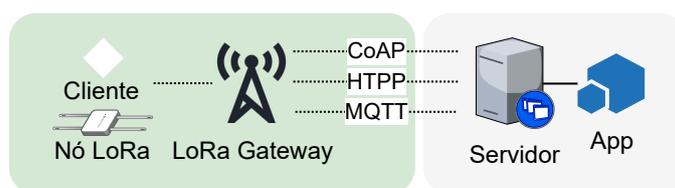


Figura 3. Protocolos de comunicação que foram utilizados no experimento.

Observou-se que a tecnologia LoRa (Long Range) se destacou como uma opção de uso porque ela consegue ter um bom desempenho em áreas extensas - sua alta capacidade de alcance com baixo consumo de energia a torna promissora e acessível. Além disso, outra característica que faz dela viável é a resistência contra interferências externas, já que os dados são transmitidos por frequências de rádio específicas, o que inibe a interferência de outras redes.

Foram analisados todos os dados coletados a partir desse experimento e, considerando os parâmetros impostos para a avaliação dos protocolos que são: o baixo consumo

¹Gateway é um sistema ou equipamento encarregado de estabelecer a comunicação entre duas redes.

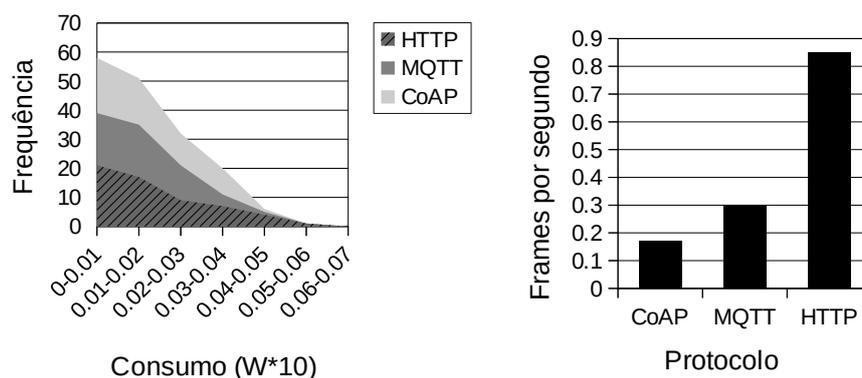


Figura 4. Consumo de energia de cada protocolo.

energético e o baixo impacto na perda de pacotes, constatou-se que, de maneira geral, o protocolo CoAP possui o melhor desempenho. É possível analisar o desempenho de cada protocolo na Figura 4.

5. Considerações Finais

O presente trabalho apresenta a arquitetura base da plataforma PC2I, que prevê a combinação de técnicas e de recursos de Aprendizagem de Máquina e IoT voltados para a irrigação inteligente. Essa combinação permite que a plataforma desenvolvida em cima da arquitetura proposta aqui seja capaz de monitorar o consumo de água nas plantações, observar o nível necessário para um determinado cultivo e direcionar, de forma inteligente, uma quantidade de irrigação que atenda a demanda, evitando o desperdício.

Espera-se que, através do desenvolvimento da PC2I e das análises realizadas, seja possível diminuir os custos de produção e a quantidade de água utilizada na agricultura. Nos trabalhos futuros, o foco estará na instância da arquitetura base da PC2I e na comparação quanti-qualitativa dela com outras soluções similares. Além disso, será possível consolidar conjuntos de dados e realizar experimentos com diferentes algoritmos de predição, verificando quais deles melhoram o processo de decisão de irrigação por meio de predições mais assertivas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Alagoas (IFAL) pelo suporte, e à Fundação de Apoio ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (FACTO) pelo apoio financeiro.

Referências

- Albuquerque, R. S. d. (2019). Sistema de irrigação inteligente para agricultura familiar baseado em iot.
- Aleotti, J., Amoretti, M., Nicoli, A., and Caselli, S. (2018). A smart precision-agriculture platform for linear irrigation systems. In *2018 26th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, pages 1–6. IEEE.

- Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., Thong, P. H., et al. (2020). Fuzzy logic based smart irrigation system using internet of things. *Journal of Cleaner Production*, 252:119902.
- Nawandar, N. K. and Satpute, V. R. (2019). Iot based low cost and intelligent module for smart irrigation system. *Computers and electronics in agriculture*, 162:979–990.
- Parfitt, J., M., B., and S., M. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., and Fereres, E. (2009). Aquacrop—the fao crop model to simulate yield response to water: I. concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3):426–437.
- Thakare, S. and Bhagat, P. (2018). Arduino-based smart irrigation using sensors and esp8266 wifi module. In *2018 Second International Conference on intelligent computing and control systems (ICICCS)*, pages 1–5. IEEE.
- Togneri, R., Kamienski, C., Dantas, R., Prati, R., Toscano, A., Soininen, J.-P., and Cinotti, T. S. (2019). Advancing iot-based smart irrigation. *IEEE Internet of Things Magazine*, 2(4):20–25.