

Discrete-Event Simulation of an Irrigation System using Internet of Things

R. G. Alves, R. F. Maia, *Member, IEEE*, and F. Lima, *Member, IEEE*

Abstract—Agricultural water consumption represents 69% of all freshwater used on the planet. In addition, it is necessary to increase food production by 50% by 2050. The use of Internet of Things platforms to carry out the sensing and monitoring of the agricultural environment is increasingly present in the literature. One of the difficulties that such platforms face is to validate the platform's operation in different irrigation systems, as it is often necessary for specialists to work in the connection of sensors and actuators that already exist on farms or that are defined in the design of such systems. Within this context, a discrete-event simulation of an irrigation system integrated into an Internet of Things platform was developed in this work. The digital manufacturing software Plant Simulation was used to perform the discrete event simulation. An OPC UA server establishes real-time communication between the Internet of Things platform and the simulation software. Thus, farmers may verify, in real-time, how a given irrigation prescription, sent by the IoT platform, takes place in the irrigation system.

Index Terms—Smart Farming, Internet of Things, Digital Manufacturing.

I. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização para a Alimentação e a Agricultura (FAO), “alimentar a humanidade vai exigir um aumento de 50% na produção de alimentos e outros produtos agrícolas entre 2012 e o meio do século” [1]. Vale ressaltar ainda que o consumo de água na agricultura equivale a cerca de 69% de toda a água consumida no mundo [2] e que a irrigação é um dos principais processos para garantir o crescimento dos cultivos. Contudo, para evitar a perda de produtividade devido ao estresse causado pela falta de água, os agricultores utilizam mais água do que o necessário.

Neste contexto, o uso de tecnologias como a Internet das coisas (IoT), Big Data, a Inteligência Artificial (IA) dentre outras é cada vez mais presente na agricultura para aumentar a eficiência dos sistemas de irrigação e assim evitar a sobriregação nas fazendas [3]–[5]. Assim, surgem as fazendas inteligentes, que utilizam diversas tecnologias para a realizar o sensoriamento e monitoramento não só do ambiente agrícola mas também das máquinas e equipamentos utilizados pelos fazendeiros [6], [7].

Com o monitoramento do ambiente agrícola e das máquinas e equipamentos é possível que os fazendeiros definam ações diferentes para cada zona de manejo de suas fazendas. Assim, as fazendas inteligentes são um desdobramento da agricultura

de precisão, tendo maior capacidade de agir de forma heterogênea em diferentes parcelas da fazenda.

Segundo [8], o setor de gerenciamento de água enfrenta dificuldades para criar um padrão para a gerenciamento de água devido ao grande número de *stakeholders*. Dentre os desafios os autores destacam: a insuficiente integração e implementação de soluções; a falta de modelos de gerenciamento de água com base nas tecnologias de informação e comunicação; a dimensão das empresas de gerenciamento de água; falta de interconexão entre os diferentes provedores de soluções.

Neste contexto, diversas soluções para fazendas inteligentes surgiram nos últimos anos [9]. Os autores destacam que existe um crescente número de trabalhos que usam tecnologias, como a IoT, que dependem de uma plataforma em nuvem para processar uma grande quantidade de dados. Um dos trabalhos que utiliza IoT para a gerenciamento de recursos hídricos é o projeto Smart Water Management Platform (SWAMP) [10], sendo este trabalho um dos resultados obtidos com o projeto.

A plataforma do SWAMP utiliza como base a plataforma FIWARE [11], que tem como componentes principais os *generic enablers*. Tais componentes são responsáveis por diversas atividades como realizar o gerenciamento dos dados, permitir a comunicação através de diferentes protocolos de comunicação, armazenar dados em base de dados relacionais e não relacionais, dentre outras atividades.

Para suprir a falta de integração entre as soluções pode-se utilizar o protocolo de comunicação Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) [12]. O surgimento deste protocolo permitiu ampliar a integração dos dispositivos, possibilitando a comunicação destes independentemente do fabricante que produziu tais dispositivos [13]. O OPC UA atua através de uma interação cliente-servidor, em que o servidor une as informações de um processo ou dispositivo e as disponibilizam para o cliente através de uma interface. Neste sentido, o uso de um protocolo padrão facilita a comunicação de diversos dispositivos com plataformas IoT.

Já para o gerenciamento da água pode-se, por exemplo, criar modelos de simulação para os sistemas de irrigação. Neste sentido, este trabalho visa simular um sistema de irrigação através da modelagem por eventos discretos, sendo que tal simulação deve receber comandos em tempo real de uma plataforma IoT por intermédio de um servidor OPC UA. Destaca-se que o cálculo da prescrição de irrigação diária está fora do escopo deste trabalho, mas foi obtida com base em modelos analíticos [14] e de inteligência artificial [15]. Resultados preliminares da plataforma desenvolvida foram publicados em [16], abordando a conexão de um protótipo de sonda de solo e serviços meteorológicos à plataforma IoT permitindo a visualização em tempo real dos dados da sonda

R. G. Alves, electrical engineering department, Centro Universitário FEI, e-mail: ralves@fei.edu.br.

R. F. Maia, Centre of Regional and Rural Futures department, Deakin University, e-mail: r.filevmaia@deakin.edu.au

F. Lima, industrial engineering department, Centro Universitário FEI, e-mail: flima@fei.edu.br

Corresponding author: Rafael Gomes Alves

e do clima.

O objetivo do modelo de simulação é avaliar o funcionamento do sistema de irrigação antes da implantação em campo, considerando as prescrições de irrigação diária enviadas pela plataforma IoT. Além disso, o objetivo deste trabalho é o de demonstrar a integração da plataforma com uma ferramenta de simulação por eventos discretos. Desta forma, o modelo de simulação consegue receber a prescrição de irrigação diária para cada zona de manejo, executar a simulação do processo de irrigação e apresentar os tempos e volume de irrigação de cada área. Uma vez que a simulação do processo de irrigação foi executada e validada pelos agricultores é possível enviar um comando da simulação para a plataforma IoT para que a irrigação seja executada em um sistema real.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É crescente o número de pesquisas relacionadas a IoT na agricultura [9], [17]. Contudo, a maioria das pesquisas são estudos exploratórios [4]. É possível classificar as pesquisas em IoT na agricultura em dois grandes grupos: o primeiro grupo apresenta o desenvolvimento de equipamentos e dispositivos a serem utilizados em fazendas, como para medição de pH [18], sensores em drones [19], sondas climáticas [20] e sensores em bombas fotovoltaicas de água [21], enquanto o segundo grupo representa pesquisas relacionadas a arquitetura das plataformas IoT, como o FIWARE [22], das redes de comunicação, como a ZigBee and 6LoWPAN [23] e a implementação de serviços na nuvem [24].

Este trabalho se difere dos dois grupos, pois abordará a possibilidade de comunicação entre uma plataforma IoT, que coleta dados de uma sonda de solo artificial, e uma simulação por eventos discretos para realizar a simulação do comportamento de um sistema de irrigação real. Destaca-se que a arquitetura de implementação da plataforma IoT bem como a sua capacidade de processar dados e características de desempenho da comunicação entre a plataforma e a simulação não serão avaliadas neste trabalho.

A. Projeto SWAMP

Este trabalho faz parte do projeto SWAMP [10], que desenvolveu uma plataforma IoT de gerenciamento inteligente da água utilizada para a irrigação de precisão. O projeto foi desenvolvido em quatro pilotos diferentes, sendo dois no Brasil, um na Espanha e um na Itália. O SWAMP possui uma arquitetura em 5 camadas como apresentado na Fig. 1.

A primeira camada é a de comunicação de dispositivos, responsável pela monitoramento e controle do ambiente agrícola e das máquinas e equipamentos através de sensores e atuadores; A segunda camada é composta pelos serviços de aquisição de dados e gestão e segurança dos dispositivos, sendo responsável principalmente por traduzir os protocolos de comunicação utilizados pelos dispositivos ao padrão NGSi utilizado pela plataforma; A terceira camada é a de gestão dos dados e é responsável pela gestão, processamento e armazenamento dos dados obtidos pelos dispositivos e serviços externos; A quarta camada é composta pelos modelos de irrigação e distribuição de água responsáveis por calcular a

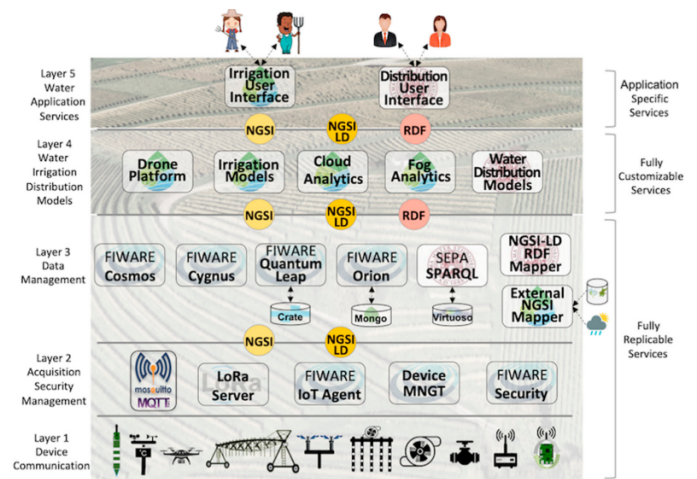


Fig. 1. Arquitetura em 5 camadas da plataforma do projeto SWAMP [10].

prescrição de irrigação a ser utilizada em cada zona de manejo bem como avaliar a distribuição da água nas fazendas; por fim, a quinta camada é a de serviços e aplicações sendo responsável por disponibilizar as informações obtidas e geradas pela plataforma para os diversos *stakeholders*.

B. Simulação por Eventos Discretos

A simulação por eventos discretos é aquela em que as alterações no sistema ocorrem em pontos discretos de tempo [25], [26]. Assim sendo, apenas quando um evento acontece é que o modelo sofre uma alteração. Nessa categoria de simulação as entidades podem ser representações físicas ou então fluxos de informação e é imprescindível que o simulador acompanhe o tempo de simulação.

Um dos simuladores mais utilizados na indústria é o Plant Simulation [27]. Além de possibilitar a modelagem de processos, o software também permite a conexão com banco de dados relacionais, controladores lógicos, servidores OPC e OPC UA, dentre outros elementos. Neste trabalho optou-se por conectar a simulação à plataforma IoT por intermédio de um servidor OPC UA visto que ambos conseguem se comunicar utilizando o protocolo OPC UA.

III. MÉTODOS

Este trabalho utiliza uma metodologia experimental e exploratória visando demonstrar a integração da simulação de um sistema de irrigação com uma plataforma IoT de modo a avaliar o comportamento de um sistema de irrigação. Para atingir tal utilizou-se um cenário piloto descrito a seguir.

A. Visão Geral da Fazenda Piloto Adotada

A Fig. 2 apresenta um exemplo de fazenda piloto adotada para realizar a experimentação proposta neste trabalho. O modelo é dividido em duas áreas com dimensões de 8×22 metros equivalendo a uma área total de $176m^2$ por região. O modelo contém uma bomba de água com vazão de 1 litro por segundo utilizada para irrigar duas áreas. Cada área

contém 3 aspersores que podem ser ligados e desligados em conjunto para realizar a irrigação uniformemente em cada área. Para este trabalho considera-se que a plataforma IoT calculou duas prescrições de irrigação distintas para cada área, sendo $4,15\text{mm}$ para a área A e 2mm para a área B. Esses valores foram obtidos, respectivamente, por um modelo analítico [14] e de IA [15], com dados obtidos durante a fase de testes de uma sonda de solo [16].

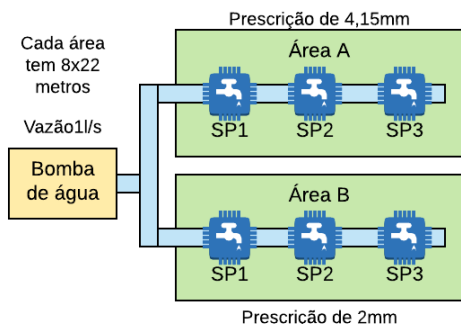


Fig. 2. Modelo de sistema de irrigação adotado.

A Fig. 3 apresenta a visão geral da solução proposta considerando 3 elementos principais: o ambiente físico composto pelo servidor OPC UA, que atuará como intermediário entre a plataforma e o software de simulação bem como atuará no controle do sistema de irrigação real que poderá ser implantado na fazenda; o ambiente digital da plataforma IoT composto pelos diversos microsserviços utilizados no projeto SWAMP [10]; e o ambiente simulado composto pelo software Plant Simulation que fará a simulação do funcionamento do sistema de irrigação a partir de uma prescrição de irrigação. Destaca-se que a comunicação entre a plataforma IoT, o servidor e o software de simulação ocorre em tempo real.

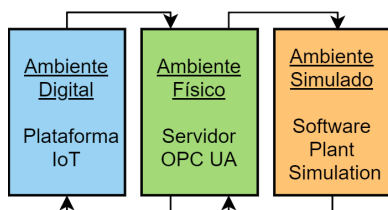


Fig. 3. Visão geral do experimento, composto por 3 ambientes.

IV. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Esta seção contém a descrição do desenvolvimento experimental que consiste nos elementos da plataforma IoT, na descrição das funcionalidades do servidor OPC UA e também a simulação computacional realizada no software de manufatura digital Plant Simulation. Destaca-se que a plataforma pode disponibilizar, através de painéis personalizados, os dados em tempo real de sondas de solo e dados climáticos [16]. Assim sendo, a contribuição deste trabalho é no modelo digital de controle dos aspersores e da comunicação em tempo real da plataforma com o modelo de simulação por intermédio de um servidor. Contudo, para o entendimento desse modelo digital

é imprescindível descrever as principais funcionalidades da plataforma IoT utilizada.

A. Plataforma de Internet das Coisas

A figura 4 apresenta os componentes utilizados na solução proposta. Destaca-se que o Cygnus, Orion Context Broker e o IoT Agente OPC UA São componentes da plataforma Fiware [11], base do projeto SWAMP [10]. Cada componente foi encapsulado em um contêiner do docker [28] contendo o código, as bibliotecas e as dependências de cada componente, para que assim seja possível replicar as funcionalidades da plataforma em qualquer computador.

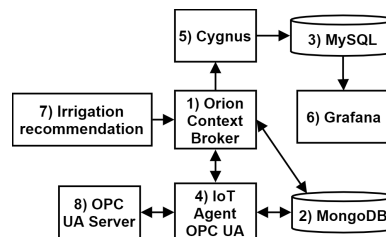


Fig. 4. Arquitetura da plataforma, apresentando a relação entre seus componentes.

Os componentes utilizados na plataforma são:

- 1) Orion Context Broker: É um gerenciador de contexto do tipo publicação/assinatura do FIWARE, plataforma base do projeto SWAMP. Ele é responsável por receber dados vindos dos dispositivos e serviços externos e direcioná-los para os bancos de dados para serem armazenados.
- 2) Mongo DB: É um banco de dados não relacional, distribuído e baseado em documentos, utilizado na plataforma para armazenar a estrutura e o último valor de cada atributo de cada entidade utilizada no Orion e no IoT Agent OPC UA.
- 3) MySQL DB: É um banco de dados relacional, utilizado para armazenar, na forma de tabelas, o histórico dos valores de cada atributo de cada entidade definida no Orion Context Broker.
- 4) IoT Agent OPC UA: É um componente do FIWARE que traduz o protocolo OPC UA para o protocolo NGSI utilizado pelo Orion. Destaca-se que o FIWARE possui IoT Agents capazes de traduzir diversos protocolos de comunicação para o padrão NGSI.
- 5) Cygnus: É um componente do FIWARE encarregado de persistir os dados do Orion Context Broker no banco de dados MySQL através do mecanismo de subscrição do Orion. Assim, dado que haja alteração no valor de determinado atributo de uma entidade o Cygnus salvará esse novo valor no banco de dados.
- 6) Grafana: O grafana é uma aplicação web que permite a análise e visualização de dados através de tabelas, gráficos e alertas. Ele é utilizado para criar um painel personalizado para os *stakeholders* para disponibilizar gráficos e alertas que auxiliem no processo de tomada de decisão.
- 7) Irrigation Recommendation: Este componente calcula as prescrições de irrigação diárias através de modelos

analíticos [14] ou de IA [15]. A descrição destes cálculos não são abordadas neste trabalho e as prescrições apresentadas neste trabalho foram simuladas com base em dados da fase de testes de uma sonda de solo [16].

B. Servidor OPC UA

O servidor OPC UA foi desenvolvido em linguagem Python com base na biblioteca python OPC UA [29]. Os principais elementos utilizados no servidor são:

- Área A - Elemento do tipo objeto que contém as variáveis de monitoramento e controle da área A.
- Área B - Elemento do tipo objeto que contém as variáveis de monitoramento e controle da área B.
- Bomba de água - Elemento do tipo objeto que contém as variáveis de monitoramento e controle da bomba de água.
- Automático - Elemento do tipo pasta que os comandos para operação do sistema de irrigação de forma automática.
- Manual - Elemento do tipo pasta que contém os comandos para operação do sistema de irrigação de forma manual.

Destaca-se que o servidor tem 3 objetos a serem controlados, sendo eles: a bomba de água, a área A e a área B. Os objetos que representam as áreas contém variáveis para indicar a vazão dos aspersores, o volume irrigado por eles, se eles estão ligados ou desligados e a lâmina de irrigação recomendada para a área. Já o objeto bomba contém as variáveis para indicar a vazão da bomba e se ela está ligada ou desligada.

Existem também dois métodos: um para a operação manual, em que o fazendeiro controla o sistema de irrigação diretamente, e um para as operações automáticas, em que o sistema de irrigação é acionado pela plataforma IoT. A configuração do servidor foi construída com base na aplicação no modelo de fazenda piloto apresentado anteriormente.

A figura 5 indica as etapas de comunicação realizadas entre a plataforma IoT, o modelo de simulação no software Plant Simulation e o servidor OPC UA. Inicialmente as prescrições de irrigação para cada área são calculadas pelo componente "irrigation recomendation" e enviadas até o modelo de simulação através do Orion Context Broker, do IoT Agent e do servidor OPC UA. Uma vez que o modelo de simulação recebe as prescrições de irrigação ele verifica o comportamento do sistema de irrigação executando a simulação e alterando as variáveis do servidor. Nota-se que o servidor tem, neste caso, dois clientes conectados a ele: o IoT Agent e o *software* Plant Simulation. Assim que o comportamento do sistema de irrigação for validado é possível enviar uma resposta do software de simulação até o Orion Context Broker indicando que a irrigação foi validada. Em seguida, é possível enviar um comando do Orion Context Broker para o servidor OPC UA para que este execute a irrigação conforme apresentado no modelo de simulação. Por fim, ao final do processo de irrigação o servidor notifica o Orion Context Broker indicando que a irrigação foi finalizada.

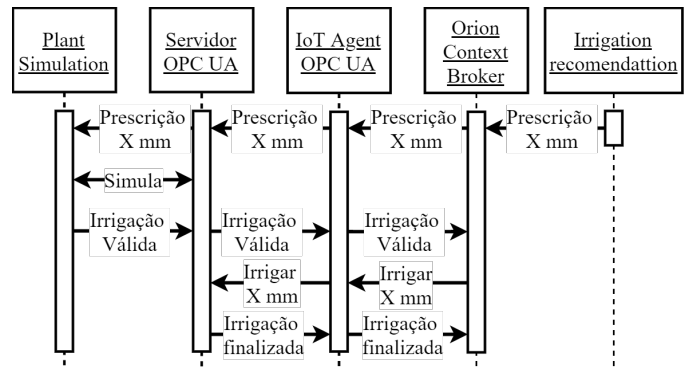


Fig. 5. Comunicação do servidor OPC UA com outros elementos da plataforma.

C. Simulação do Sistema de Irrigação

Para a simulação do sistema de irrigação foi desenvolvido um modelo utilizando o software Plant Simulation [27]. Uma visão geral do ambiente da simulação pode ser observada na Fig. 6. O mapeamento das variáveis do servidor com as variáveis do software de simulação é feito por uma biblioteca própria do Plant Simulation através de um chave de identificação única para cada variável.

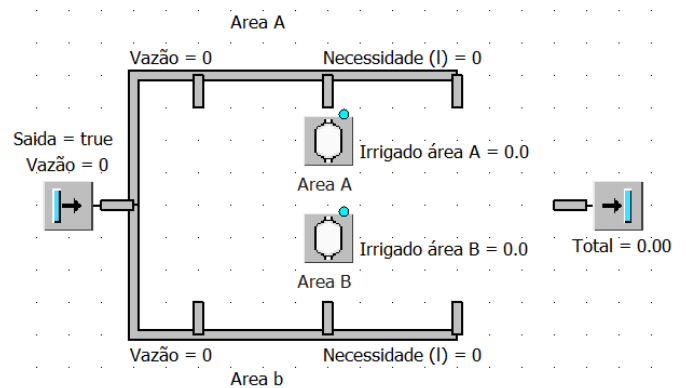


Fig. 6. Visualização do modelo de simulação no Plant Simulation no estágio inicial.

Para simular a irrigação de determinada região utiliza-se o elemento "tanque" na simulação. Com esse elemento é possível visualizar o volume de água irrigada em determinada região, desde que o tanque tenha volume o suficiente e que a sua saída esteja fechada. No modelo existe um tanque para cada área.

O elemento *pump* é utilizado para simular a bomba de água, sendo que sua vazão é de 1 l/s quando ela está ativada. Tubos são utilizados como representação visual do sistema de irrigação proposto e também para direcionar a água para as devidas áreas. Devido a restrições do software de simulação e considerando o cenário mais simples a divisão do fluxo de água para cada região foi definida em 50% para cada área.

Por fim, foi utilizado o elemento "display" para mostrar diretamente na área de trabalho da simulação os valores da vazão da bomba, da vazão de cada área, do volume irrigado

em cada área, da necessidade de irrigação de cada área e do total de água utilizado na irrigação.

Com estes elementos criados e configurados é possível visualizar o funcionamento do sistema de irrigação seja pelas prescrições de irrigação definidas pela plataforma IoT seja pelas ações manuais executadas pelos fazendeiros no servidor OPC UA. A seguir detalham-se os métodos utilizados para simular a fazenda proposta.

D. Métodos Utilizados na Simulação

A operação da simulação computacional depende de 3 métodos principais, sendo eles denominados: init, área A, área B.

1) *Método init*: O método init é utilizado para definir o estágio inicial da simulação e também para monitorar constantemente as variáveis do servidor e da simulação, estabelecendo a comunicação entre os dois. O pseudoalgoritmo abaixo indica os passos que tal método executa, sendo PS a variável no software Plant Simulation e OPC UA a variável no servidor.

while Verdadeiro do

```
Estado da bomba PS = estado da bomba OPC UA;
Estado área A PS = estado área A OPC UA;
Estado área B PS = estado da área B OPC UA;
Vazão da bomba OPC UA = vazão da bomba PS;
Vazão área A OPC UA = vazão área A PS;
Vazão da área B OPC UA = Vazão área B PS;
Volume irrigado área A OPC UA = Volume irrigado
tanque área A PS;
Volume irrigado área B OPC UA = Volume irrigado
tanque área B PS;
```

end while

Nota-se que este método está constantemente verificando se existe necessidade de irrigação através do mapeamento dos estados da bomba e das áreas da simulação com as do servidor. Ao mesmo tempo, este método está enviando para o servidor o valor das vazões e do volume irrigados para este poder monitorar tais parâmetros.

2) *Método Irrigar Área*: O método irrigar área é utilizado para simular a irrigação realizada em determinada área. Este método é executado sempre que a plataforma envia uma prescrição de irrigação para o servidor OPC UA que encaminha então tal prescrição para o software de simulação. O pseudoalgoritmo abaixo indica os passos que tal método executa.

if Irrigação da área A == 0 then

```
Aguarde 0.1s
```

else

```
Volume do tanque = 8*22*irrigação da área OPC UA;
Vazão da bomba PS = Vazão da bomba OPC UA;
Estado da bomba PS = Estado da bomba OPC UA;
Estado da área PS = Estado da área OPC UA;
Aguarda o tanque da área A estar cheio;
Alerta o OPC UA que a irrigação foi finalizada;
Fecha a entrada do tanque;
Abre a saída do tanque;
Aguarda o tanque ficar vazio;
Fecha a saída do tanque;
```

```
Abre a entrada do tanque;
```

end if

No início do método o modelo de simulação calcula o volume do tanque que será utilizado para definir a meta de irrigação com base na prescrição de lâmina de água fornecida pela plataforma IoT. Em seguida, liga-se a bomba de água e a área a ser irrigada, permitindo que o tanque comece a se encher.

Quando o tanque de determinada área está cheio significa que a área já foi totalmente irrigada. Assim o modelo de simulação fecha a entrada dos tanques de tal área e abre suas saídas para que o fluido possa ser enviado para a saída o modelo de simulação e assim contabilizado na irrigação total. É importante ressaltar que o volume a ser irrigado é definido no modelo de simulação e não no servidor. Assim, é possível avaliar layouts de irrigações diferentes diretamente no software de simulação sem que seja necessário alterar as variáveis no servidor.

Destaca-se que este método pode ser replicado para a área B apenas alterando adequadamente o nome das variáveis. Utiliza-se um método para cada área de irrigação, pois cada área é irrigada independentemente. Assim, é possível ligar apenas uma área de irrigação bem como ligar ambas em simultâneo, ou com determinado atraso, a depender das necessidades dos agricultores.

V. RESULTADOS OBTIDOS

Para o experimento proposto, a plataforma IoT faz o envio de recomendações de irrigação de 4,15mm para a área A e 2mm para a área B. Como destacado anteriormente, esses valores foram obtidos por modelos analíticos [14] e de IA [15], como dados da fase de testes de uma sonda de solo [16] e não representam prescrições de irrigação reais utilizadas em determinada fazenda.

Uma vez recebidos os comandos da plataforma IoT, o servidor altera o estado da bomba de água e das áreas de irrigação, acionando-as. Assim sendo, os métodos para irrigar a área A e B são executados na simulação. Com a execução dos métodos o volume do tanque A é definido em 730.4 litros e o tanque da área B é definido para 352.0 litros, que correspondem a respectiva prescrição de irrigação (4,15mm e 2mm) multiplicada pela área de irrigação (176m²).

O próximo passo é ligar, na simulação, cada área de irrigação e a bomba de água. A Fig. 7 apresenta o sistema de irrigação ligado, como pode ser observado pela cor azul nas tubulações, e também a necessidade de irrigação para cada área. Nota-se que a vazão da bomba de água é de 1l/s e a vazão para cada área é de 0,5l/s como descritos anteriormente.

Dado que o tanque de uma área atinge a capacidade máxima, que corresponde ao volume de água a ser irrigada para tal área, o modelo de simulação notifica o servidor de que a irrigação de tal área foi concluída. Em seguida o modelo de simulação libera o conteúdo do tanque da área para a saída da simulação, sendo contabilizado para o total de água utilizado até o momento. A Fig. 8 indica a situação do sistema de irrigação quando a área B foi totalmente irrigada, portanto,

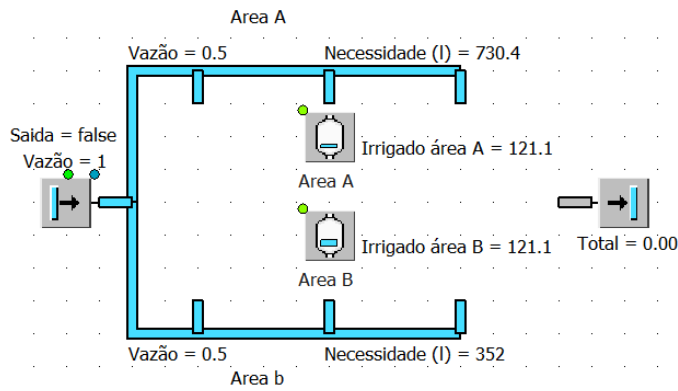


Fig. 7. Início da simulação, após o modelo de simulação receber os comandos de irrigação.

apenas a área A está ligada. Nota-se que a vazão da bomba de água é totalmente direcionada para a área B neste momento.

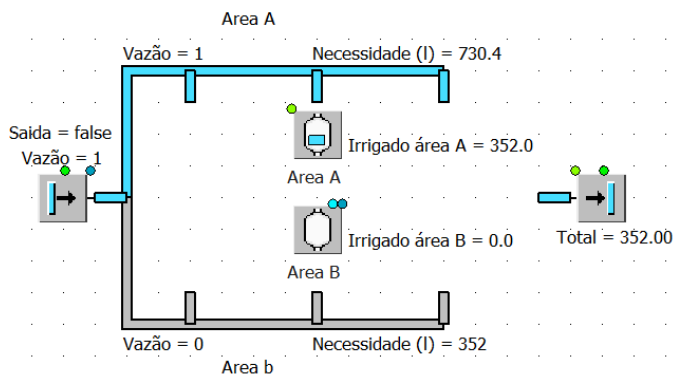


Fig. 8. Estado da simulação após a área b ter sido irrigada.

Também é possível notar na Fig. 8 que a necessidade de irrigação retornou ao valor 0 e que o volume total irrigado foi de 352 litros. Por fim, a Fig. 9 indica o estado do modelo de simulação ao fim das duas irrigações. O volume total irrigado foi de 1082,4 litros.

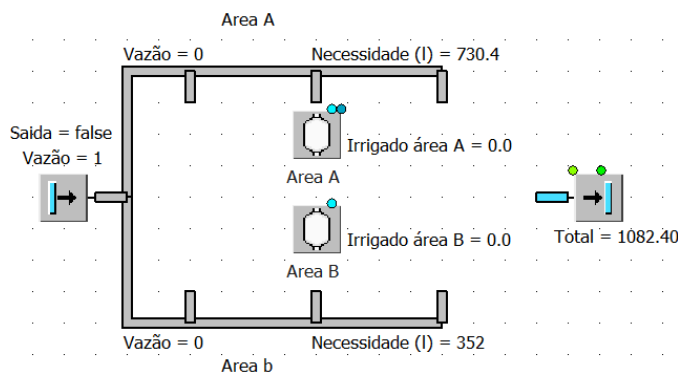


Fig. 9. Estado da simulação ao fim da irrigação das duas áreas.

Para o experimento nota-se que o volume de água a ser irrigado para a área A é muito maior do que o volume de água irrigado para a área B. Logo a irrigação da área B termina antes da área A. Dado que a irrigação de todas as áreas esteja completa é possível visualizar o volume total de

água irrigada como visto na Fig. 9 e o tempo em que cada irrigação foi ativada como visto na tabela I. Nota-se que o tempo de irrigação da área B foi de 11 minutos e 45 segundos e que o tempo para a irrigação da área A foi de 18 minutos e 3 segundos.

TABELA I
TEMPOS DE INÍCIO E FINALIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO DE CADA ÁREA

Tempo da simulação [min:seg]	Vazão Área A [l/s]	Vazão Área B [l/s]	Volume Irrigado A [l]	Volume Irrigado B [l]
0:00	0	0	0	0
3:12	0.5	0.5	0	0
14:57	1	0	352	352
21:15	0	0	730.4	352

Destaca-se que as recomendações de irrigação para as duas áreas foram enviadas no mesmo tempo, ou seja, à 3:12 minutos do início da simulação. Portanto, a irrigação das duas áreas é ligada simultaneamente. Sendo assim, inicialmente, a bomba de água é ligada com vazão de 1 l/s, sendo tal vazão dividida igualmente entre as duas áreas. Logo, ambas as áreas iniciam seu processo de irrigação com vazão de 0,5 l/s e após a finalização da irrigação da área B (no tempo 14:57 minutos) toda a vazão é destinada à irrigação da área A.

Uma vez realizada a simulação e avaliado o comportamento do sistema de irrigação é possível conectar os dispositivos de um sistema de irrigação real ao servidor OPC UA e assim garantir o correto funcionamento do sistema de irrigação.

É importante destacar que este trabalho não avaliou a melhor disposição e operação de um determinado sistema, pois tais avaliações dependem da infraestrutura disponível em uma fazenda real. Ressalta-se que em um sistema real é necessário realizar o balanceamento de carga do sistema, pois, caso contrário, as vazões para cada área diferirão devido à diferença nas pressões e vazões de saída de cada aspersor.

VI. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é apresentar a integração entre uma plataforma IoT e um software de simulação por eventos discretos através da simulação de um sistema de irrigação. Como apresentado, a integração dos dois é feita por intermédio de um servidor OPC UA visto que ambos conseguem se conectar ao servidor. Assim, o modelo de simulação conseguiu avaliar, em tempo real, o tempo de irrigação necessário para irrigar cada área da fazenda modelo segundo as prescrições de irrigação calculadas pela plataforma IoT e enviadas ao software de simulação por intermédio do servidor OPC UA. Uma vez que a integração da plataforma IoT com o software de simulação é realizada é possível avaliar diariamente o comportamento do sistema de irrigação em ambiente virtual. Assim os agricultores podem avaliar o processo de irrigação de suas fazendas e dado que este processo seja validado enviar um comando do software de simulação para a plataforma IoT para que este execute a irrigação.

Destaca-se que o modelo de simulação depende das restrições e definições impostas pelo sistema real a ser implantado como, por exemplo, a vazão da bomba, o acionamento

conjunto dos aspersores de uma determinada área, a divisão igual da vazão em cada área e etc. Portanto, o modelo de simulação oferece uma avaliação inicial do comportamento de determinado sistema.

Como trabalho futuro, sugere-se avaliar o funcionamento da plataforma, do servidor e do modelo de simulação em uma fazenda piloto real para ser possível avaliar a capacidade do modelo de simulação em representar um ambiente real bem como avaliar outros cenários de irrigação que não os utilizados pela fazenda piloto a ser estudada.

AGRADECIMENTOS

This work was carried out with the support of the Rede Nacional de Pesquisa - Brasil (RNP) and the SWAMP project (ID 777112), financed by the European commission.

REFERÊNCIAS

- [1] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, *The State of Food and Agriculture: Leveraging Food Systems for Inclusive Rural Transformation*, vol. 2. Rome: FAO, 2017.
- [2] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, "Water withdrawal by sector, around 2010," 2016.
- [3] S. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, and M.-J. Bogaardt, "Big data in smart farming – a review," *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69 – 80, 2017.
- [4] C. Verdouw, J. Wolfert, and B. Tekinerdogan, "Internet of things in agriculture," *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, vol. 11, 2016.
- [5] J. M. Talavera, L. E. Tobón, J. A. Gómez, M. A. Culman, J. M. Aranda, D. T. Parra, L. A. Quiroz, A. Hoyos, and L. E. Garreta, "Review of iot applications in agro-industrial and environmental fields," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 142, pp. 283 – 297, 2017.
- [6] D. Pivoto, P. D. Waquil, E. Talamini, C. P. S. Finocchio, V. F. Dalla Corte, and G. de Vargas Mores, "Scientific development of smart farming technologies and their application in brazil," *Information Processing in Agriculture*, vol. 5, no. 1, pp. 21 – 32, 2018.
- [7] M. Colezea, G. Musat, F. Pop, C. Negru, A. Dumitrascu, and M. Mocanu, "Cluefarm: Integrated web-service platform for smart farms," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 154, pp. 134 – 154, 2018.
- [8] T. Robles, R. Alcarria, D. Martín, A. Morales, M. Navarro, R. Calero, S. Iglesias, and M. López, "An internet of things-based model for smart water management," in *2014 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, pp. 821–826, 5 2014.
- [9] E. Navarro, N. Costa, and A. Pereira, "A systematic review of iot solutions for smart farming," *Sensors*, vol. 20, p. 4231, 7 2020.
- [10] C. Kamienski, J.-P. Soininen, M. Taumberger, R. Dantas, A. Toscano, T. Salmon Cinotti, R. Filev Maia, and A. Torre Neto, "Smart water management platform: Iot-based precision irrigation for agriculture," *Sensors*, vol. 19, p. 276, 1 2019.
- [11] FIWARE, "Fiware catalogue."
- [12] T. Hannelius, M. Salmenpera, and S. Kuikka, "Roadmap to adopting opc ua," in *2008 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, pp. 756–761, 7 2008.
- [13] W. Mahnke, S.-H. Leitner, and M. Damm, *OPC Unified Architecture*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [14] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. SMITH, "Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements," *Food and Agriculture Organization for the United Nations*, 4 1998.
- [15] G. Souza, P. T. Aquino-Jr, R. F. Maia, C. Kamienski, C. Kamienski, and J.-P. Soininen, "A fuzzy irrigation control system," in *2020 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, pp. 1–6, 2020.
- [16] R. G. Alves, "Gêmeo digital para um sistema de irrigação," 2020.
- [17] M. S. Farooq, S. Riaz, A. Abid, T. Umer, and Y. B. Zikria, "Role of iot technology in agriculture: A systematic literature review," *Electronics*, vol. 9, p. 319, 2 2020.
- [18] G. Archbold Taylor, H. Beltran Torres, F. Ruiz, M. Narducci Marin, D. Mendez Chaves, L. Trujillo Arboleda, C. Parra, H. Carrillo, and A. M. Mouazen, "pH Measurement IoT System for Precision Agriculture Applications," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, pp. 823–832, may 2019.
- [19] E. V. Vazquez-Carmona, J. I. Vasquez-Gomez, and J. C. Herrera-Lozada, "Environmental Monitoring using Embedded Systems on UAVs," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, pp. 303–310, feb 2020.
- [20] O. Chase, A. Carvalho, E. Andrade, J. Almeida, and C. Costa, "Environmental Measurement Technology: An Approach to the Amazonian Environment," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, pp. 1036–1041, apr 2018.
- [21] I. Dupont, R. Pereira, S. Juca, and P. Carvalho, "Internet of Things Data Acquisition System Applied to Photovoltaic Water Pumping," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, pp. 2547–2560, oct 2018.
- [22] W. Velasquez and M. Filian-Gomez, "Communication Network Model for a Computer Management and Control System implemented using FIWARE platform: Case Study," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, pp. 2073–2080, dec 2020.
- [23] M. Ruiz, E. Alvarez, A. Serrano, and E. Garcia, "The Convergence between Wireless Sensor Networks and the Internet of Things; Challenges and Perspectives: a Survey," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, pp. 4249–4254, oct 2016.
- [24] S. Sanso, C. Guerrero, I. Lera, and C. Juiz, "A Platform for Lightweight Deployment of IoTApplications Based on a Function-as-a-ServiceModel," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, pp. 1155–1162, jul 2019.
- [25] C. Cassandras and S. Lafortune, *Introduction to discrete event systems*. Springer, 2008.
- [26] S. M. Jeon and G. Kim, "A survey of simulation modeling techniques in production planning and control (PPC)," *Production Planning and Control*, vol. 27, no. 5, pp. 360–377, 2016.
- [27] Siemens, "Use plant simulation and throughput optimization to improve manufacturing performance."
- [28] Docker, "What is a Container? A standardized unit of software," 2020.
- [29] O. Roulet-Dubonnet, "Python OPC-UA Documentation," 2020.



Rafael Gomes Alves Graduated in Mechanical Engineering from Centro Universitário FEI (2017) and got his master's degree in Mechanical Engineering from Centro Universitário FEI (2020). He is currently pursuing a PhD in electrical engineering with an emphasis on artificial intelligence applied to automation and robotics. He has worked on the Smart Water Management Platform (SWAMP) project. His topics of interest are internet of things, digital twins, artificial intelligence and urban agriculture.



Rodrigo Filev Maia He has received his doctorate from Universidade de São Paulo - Escola Politécnica (2010). He is a Senior Research Fellow at Deaking University, working with automation and machine learning to improve irrigation outcomes in experimental and commercial farms. He has done research for the european projects INSTINC (FP6), BELIEF (FP6), SAMBA (FP7), eMundus (Erasmus Mundus) and SWAMP (Horizon 2020), as well as in UK (Netwon Funds) and Agrifutures and CRDC in Australia. Current investigation interests include the impact of technology and water and labour savings, as well as impacts in farm security due to data harvest and automatic control.



Fábio Lima Graduated in Electrical Engineering from Universidade Estadual Paulista - UNESP (1998), Master's from University of São Paulo - School of Engineering of São Carlos (2001) and Ph.D. from University of São Paulo - Escola Politécnica (2010) . He is a full-time professor at Centro Universitário FEI in the department of industrial engineering. He belongs to the master's program in mechanical engineering at Centro Universitário FEI (Production Engineering Area) where he develops research related to Digital Manufacturing, Systems Automation and Advanced Manufacturing (Industry 4.0). He is a scientific advisor for FAPESP (São Paulo Research Foundation) and a member of the IEEE Industrial Electronics Society. He is the coordinator of the Digital Manufacturing laboratory at Centro Universitário FEI.