

Sistema automatizado multiplataforma para monitoramento e controle de irrigação por aspersão

Marlon Lopes Pinto¹

Aldo Henrique Dias Mendes¹

Luis Cesar Dias Drumond²

Murilo Coelho Naldi¹

Universidade Federal de Viçosa - UFV - Campus Rio Paranaíba

1. Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas

2. Instituto de Ciências Agrárias

Resumo—A automação de sistemas em conjunto com o controle *web* e *mobile* é um facilitador dos mais diversos processos em várias áreas, dentre elas o setor agropecuário. Especificamente na parte de manejo de irrigação, a tecnologia atual aplicada em grande parte das propriedades rurais não é capaz de satisfazer as necessidades do agricultor, que são o fornecimento correto de água para as plantas e o monitoramento remoto da irrigação. O objetivo deste trabalho é apresentar um sistema para controle e monitoramento de irrigação com suporte multiplataforma para *desktop* e *web/mobile*. O sistema foi desenvolvido para realizar o manejo automático da irrigação, de forma a fornecer a quantidade exata de água necessária para a cultura, evitando tanto o estresse hídrico da cultura quanto o desperdício de recursos como água e energia elétrica. Adicionalmente, o sistema permite o monitoramento remoto de qualquer lugar por meio de um computador e/ou dispositivo móvel via internet. Este trabalho foi desenvolvido durante o projeto de iniciação científica dos autores.

Palavras-chave—Automação de irrigação, manejo de irrigação, sistema automatizado, *web*, *mobile*.

Multiplatform automated system for monitoring and sprinkler irrigation control

Abstract—The automation systems together with web and mobile control is a facilitator of the various processes in several areas, among them the agricultural sector. Specifically in the irrigation management, the lowest cost technology is not able to satisfy the farmer's needs, which are the correct water supply to plants and remote monitoring of the irrigation. The objective of this paper is to present a system for controlling and monitoring irrigation with a multiplatform support for both desktop and web/mobile. The system is designed to realize automatic irrigation management in order to provide the exact amount of water needed for culture, avoiding water stress both the culture and the waste of resources such as water and electricity. Additionally, the system allows remote monitoring from anywhere by means of a computer and/or mobile device by internet. This work was developed during the undergraduate mentorship of the authors.

Index Terms—Automation of irrigation, irrigation management, automated system, web, mobile.

I. INTRODUÇÃO

A irrigação pode ser definida como uma técnica de manejo de água que é utilizada principalmente na agricultura [1]. Este trabalho apresenta um sistema automatizado multiplataforma para o monitoramento e controle da irrigação de culturas. O principal objetivo do sistema é controlar a quantidade de água recebida pelas culturas de forma precisa, tanto em quantidade quanto em relação ao momento certo de irrigar. Isso assegura a eficiência do manejo de irrigação e a produtividade da cultura irrigada.

Através do manejo adequado de irrigação é possível aumentar a produção agrícola, as disponibilidades e os estoques de cultivares ao longo do ano, uma vez que esta prática permite uma produção em períodos com poucas chuvas [2]. Além disso, a agricultura irrigada reduz as incertezas, prevenindo o agente econômico (irrigante) contra a irregularidade das chuvas, anual e interanual [3]. A utilização precisa da água preserva esse recurso hídrico tão importante e cada vez mais escasso em algumas regiões do país.

A fim de atingir seus objetivos, este trabalho conta com a automação do processo de manejo de irrigação. A automação consiste em um sistema pelo qual mecanismos controlam seu próprio funcionamento com pouca ou sem nenhuma interferência do homem [4]. A automação de processos pode ser feita para controlar e instrumentalizar etapas no processo de produção.

Os setores produtivos necessitam da automatização e informatização como meio para garantir um aumento da eficiência dos seus processos. Setores vinculados a agricultura não fogem à regra e a cada dia têm seus processos automatizados com objetivo de melhorá-los, tanto do ponto de vista da produtividade como também da eficiência. As aplicações do monitoramento e controle automático desses setores têm sido estimuladas pela constante e grande influência da informática.

Dentre as vantagens da automação, merece destaque o controle mais rigoroso do manejo da água utilizada para irrigação [5], que é feito de forma automática pelo sistema, ou seja, o momento de acionamento e desligamento das válvulas utilizadas para irrigar é calculado automaticamente de acordo com a cultura produzida, as condições climáticas e do ambiente. Portanto, se evita o desperdício de recursos hídricos e, conseqüentemente, colabora para a diminuição do impacto que pode ser provocado por um manejo feito de forma irregular.

Além da precisão e eficiência do sistema automatizado proposto neste trabalho, também é preciso considerar a flexibilidade agregada ao monitoramento do manejo de irrigação através de uma aplicação *web/mobile* interligada ao sistema. Aplicações *web* permitem ao usuário ter a liberdade para poder acessá-la de qualquer lugar desde que o local tenha acesso à internet [6].

Por meio de aplicações *web* e *mobile* o usuário tem a capacidade de realizar o monitoramento do manejo de irrigação de qualquer lugar através de um computador portátil ou dispositivos móveis, como *tablets*, *smartphones*, etc. Temos em vista que o sucesso de soluções deste tipo permitirá que a tecnologia desenvolvida seja replicada em culturas em nível nacional. Isso porque, a solução de automatização proposta neste trabalho é de baixo custo e, por isso, pode ser implementada em qualquer propriedade com um sistema de irrigação instalado.

Portanto, o sistema automatizado aqui proposto em conjunto com aplicações *web* e *mobile* transformam um sistema de baixa eficiência em um sistema de alta precisão que pode ser controlado remotamente e contribuir de forma direta na produtividade das culturas irrigadas, além da melhoria na utilização dos recursos hídricos e diminuição do impacto ambiental que pode ser causado pelo manejo de irrigação feito de forma irregular.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Em [7], os autores fazem referência à importância de um sistema automatizado para irrigação e os elementos desse sistema. Neste trabalho, é proposto um método que utiliza um controlador eletrônico para acionar as válvulas de irrigação, atualmente bastante comum em algumas áreas rurais do Brasil. Porém, o trabalho não leva em consideração a precipitação e evapotranspiração que ocorre durante o intervalo de irrigação, nem utiliza interfaces de acesso remoto.

Os autores de [8] avaliam o desempenho de um sistema automatizado através da tensão de água no solo, ou seja, pela força com que a água é retida pelo solo. Esse sistema utiliza sensores para verificar os níveis pré-estabelecidos para cada tratamento e acionar a motobomba caso as tensões atingissem estes níveis. Ao contrário do sistema desenvolvido neste trabalho, o modelo descrito não leva em consideração a quantidade de culturas irrigadas por uma motobomba, o que força o produtor a utilizar uma bomba de irrigação para cada cultura diferente na propriedade. Além disso, o sistema não permite o monitoramento remoto via *web* e *mobile*.

Em [9], é proposto um sistema de automação remota de irrigação que fornece praticidade e melhoria na agricultura irrigada. A irrigação seria controlada remotamente por um *software* com interface gráfica atrativa e de simples manuseio, este *software* funcionaria em uma plataforma *online* com modelo cliente-servidor. A ideia central deste trabalho tem os mesmos objetivos que o trabalho de [9]. Diferentemente de [9], o trabalho proposto neste artigo permite o acesso do usuário por meio de uma plataforma *web*, *mobile* e *desktop*. Portanto o usuário pode monitorar tanto pela internet, quanto por um computador ou celular, sem comprometer a irrigação das culturas na falta de conexão com a internet.

Em [10], é apresentado o SisCI (Sistema para Controle de Irrigação através de Dispositivos Celulares), é um sistema de tempo real que realiza o monitoramento remoto da irrigação, buscando através de sensores que informam dados ao agricultor. Estes dados podem ser umidade, temperatura, velocidade do vento e pressão da atmosfera do campo de irrigação. Ele ainda possui um sistema *web* que, junto a um SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados) deixa todos os dados sobre a cultura. Entretanto, o SisCI não possui uma funcionalidade para realizar o acionamento da irrigação. É justamente neste quesito que nossa proposta se diferencia, pois no sistema proposto neste trabalho, além das informações sobre o campo, é possível acionar as válvulas solenóides através de um único clique com o *mouse* ou deixar que o *software* calcule automaticamente o momento de irrigar, a partir dos cálculos feitos pelo próprio sistema utilizando dados climáticos do local (evapotranspiração e precipitação).

Em [11] também é apresentado um projeto, dividido em dois sistemas: o primeiro é o IGmanejo, que envia SMS (*Short Message Service*) para celulares previamente cadastrados com informações da área irrigada, informações como a identificação, a lâmina aplicada e o tempo que ficou acionada. O segundo *software* é o IGmanejo *mobile* que busca orientar os agricultores com informações dos tanques evaporímetro e pluviômetro. Ambos os *softwares* ajudam na tomada de decisão do manejo, informando ao agricultor por exemplo sobre o quanto deve irrigar em cada campo, as informações das lâminas entre outros. Apesar dos benefícios dos *softwares*, não há automação integrada ao IGmanejo. Portanto, mesmo que o agricultor saiba o quanto deve irrigar, ainda seria necessário o acionamento e desligamento manual do sistema.

A Tabela I apresenta uma comparação resumida de todos os trabalhos relacionados que foram apresentados nesta seção.

III. ESTRUTURA DO SISTEMA

O sistema contém duas partes independentes, porém, mutuamente relacionadas. A primeira parte é um *software desktop* de controle da automação que fica em um servidor local que é ligado ao microcontrolador responsável por enviar sinais sem fio as válvulas de irrigação através dos módulos xbee. A segunda parte dá suporte aos sistemas *web/mobile*, ou seja, contém um *website* e

TABELA I
CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS APRESENTADOS

Característica:	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	Este
Considera nível de água no solo.	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Interface para acesso em computador local.	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim
Interface para acesso em dispositivos móveis.	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Controla a irrigação de culturas diferentes simultaneamente.	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim
Necessita de sensores para funcionar.	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim

um aplicativo para executar em dispositivos móveis e, portanto, fica em um servidor *online*. Ambas as partes se comunicam por meio de um banco de dados que é responsável por armazenar os dados desses sistemas. A Figura 1 ilustra de modo geral a estrutura do projeto.

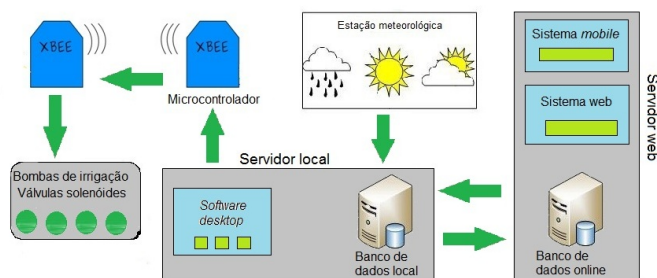


Fig. 1. Estrutura geral do sistema.

A. Estação meteorológica

O sistema necessita de uma estação meteorológica automatizada que informe a quantidade de água que o solo ganhou (Precipitação) e a quantidade que o solo perdeu (Evapotranspiração). Esse equipamento consiste em um console registrador de dados, *software* Weatherlink; sensor de temperatura do ar: -40°C a 65°C ; sensor de umidade relativa: 0 a 100% (umidade relativa não condensada); sensor de velocidade de vento: 0 a 67m/s ; sensor de direção de vento: 0° a 360° ; sensor de pressão atmosférica: 880 a 1080 mb; sensor de precipitação: 0 a 9999 mm e sensor de radiação solar global: 0 a 1800w/m^2 .

A estação meteorológica utilizada na realização deste projeto foi o modelo *Davis Vantage Pro 2 Wireless*. Esse equipamento custa aproximadamente R\$10.000,00 no mercado nacional e por volta de US\$600,00 mais custo de importação no mercado internacional. É um investimento importante e que pode ter seu custo dividido com outras pessoas interessadas em obter os dados capturados, uma vez que, o seu raio de cobertura é de vários quilômetros.

Os dados são capturados do console da estação através de um *script* que executa ações automáticas no sistema operacional como abrir, fechar e executar arquivos. Esse *script* é programado para executar de hora em hora no

computar para capturar os dados necessários que foram gerados pela estação. Seu intervalo de execução pode ser alterado dependendo do cenário, porém, se dá pelo fato de que o próprio equipamento da estação já vem pré-programado para obter os dados meteorológicos a cada sessenta minutos.

B. Servidor web

Servidores *web* recebem solicitações através de um protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) [12]. Essas solicitações são feitas por clientes ao utilizar um navegador de internet. Através desse servidor que é disponibilizado todo conteúdo *online* via HTML (*HyperText Markup Language*).

O servidor *web* oferece a infraestrutura para alocar o sistema *web* que foi desenvolvido para dar mais flexibilidade no controle do sistema de irrigação automatizado. Além disso, também recebe os dados de hora em hora da estação meteorológica por meio de transferência de arquivo via FTP (*File Transfer Protocol*).

1) *Sistema web*: O sistema *web* se trata de uma aplicação que fica hospedada em um servidor e, é acessada via internet por intermédio de um navegador [13]. Não necessita de um servidor próprio, mas é importante que fique em uma instância isolada das demais aplicações que possa ter no servidor. Esse sistema foi desenvolvido com as linguagens de programação PHP (*Hypertext Preprocessor*) e JavaScript, a linguagem de marcação HTML e a linguagem de estilo CSS (*Cascading Style Sheets*).

Com o sistema *web* é possível acompanhar e controlar todo o sistema de irrigação sem ter que estar presente no local. O usuário pode ativar e/ou desativar as válvulas de irrigação de qualquer lugar, desde que tenha acesso à internet e seja cadastrado no sistema. A Figura 2 apresenta a interface desenvolvida para esse sistema.



Fig. 2. Tela principal do sistema *web*.

O Sistema *web* ainda se comunica com a aplicação *mobile*, a comunicação é feita através de uma estrutura de dados chamada JSON (*JavaScript Object Notation*).

2) *Sistema mobile*: O Sistema *mobile* é uma interface da aplicação *web* para o sistema operacional Android, essa versão para dispositivos móveis foi desenvolvida com a linguagem de programação Java e a linguagem de marcação XML (*eXtensible Markup Language*).

Essa aplicação como já citada se comunica com o servidor *web* como pode ser visto na Figura 3, ou seja, o sistema *mobile* não se comunica diretamente com o sistema de irrigação, ele envia a solicitação para o servidor *web* e este se encarrega de comunicar com a aplicação *desktop*.

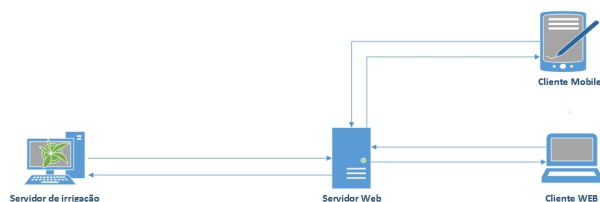


Fig. 3. Comunicação dos sistemas *web* e *mobile*.

O sistema *mobile* não possui as mesmas funcionalidades que os sistemas *web* e *desktop* por questões de segurança, e também, para não deixar o aplicativo com um tamanho que dificulte a sua execução. Essa versão para dispositivos móveis apresentada na Figura 4 foca apenas no acompanhamento do sistema de irrigação, onde o usuário pode visualizar quais válvulas de irrigação que estão ligadas e quais estão desativadas, porém, não pode controlá-las. Essa modalidade tem o recurso de alerta, onde o usuário recebe uma mensagem do aplicativo avisando se uma válvula de irrigação foi ativada ou desativada.



Fig. 4. Interface principal sistema *mobile* com a limitação dos menus para permitir apenas o acompanhamento das ações.

C. Banco de Dados

Para o gerenciamento e controle das operações de bancos de dados foi utilizado a linguagem SQL (*Structured Query Language*) e para facilitar a manipulação dos dados também se utiliza o SGBD MySQL com as interfaces PHPMyAdmin e MySQL *Workbench*.

Além do armazenamento dos dados, outra função do banco de dados neste projeto é a comunicação entre os sistemas *web* e *desktop*. Essa comunicação se dá de forma que, ao atualizar o banco de dados, as aplicações *web* e *desktop* são atualizadas por meio de replicação dos dados.

Dessa forma, as aplicações estão sempre atualizadas com o mesmo estado do sistema de irrigação e são capazes de calcular a quantidade necessária de água para irrigar com precisão.

D. Servidor local

O servidor local é responsável por alocar o *software desktop* que foi desenvolvido. O servidor utilizado é um computador *desktop* com a seguinte configuração, 8 GB de memória RAM, 80 GB de HD e sistema operacional Windows 7. Esse servidor fica alocado no laboratório de pesquisa do curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba.

1) *Software desktop*: O *software desktop* é responsável por realizar o controle e monitoramento da irrigação, foi desenvolvido com a linguagem de programação Java que é interpretada em diversas plataformas e se comunica facilmente com o microcontrolador. É este *software* que realiza todos os cálculos necessários e compartilha os resultados com as demais aplicações por meio do Banco de Dados.

O *software* é dividido em três módulos principais, onde cada módulo tem uma função específica a ser desempenhada. A Figura 5, representa a divisão desses módulos.

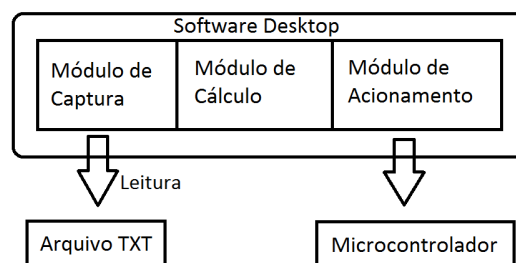


Fig. 5. Módulos do *software desktop* desenvolvidos para calcular o tempo de irrigação e controlar as válvulas.

2) *Módulo de captura*: O *software* da estação meteorológica gera um arquivo em formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) com todos os dados captados pela estação. Dentre os dados obtidos, a Evapotranspiração Potencial (ETP) e Precipitação (P) são selecionados e utilizados pelo sistema para o cálculo do tempo e quantidade de irrigação necessária. Além dessas informações, o usuário também deve informar alguns dados no sistema, pois cada região tem suas particularidades climática e solos com características distintas. A Tabela II lista os dados que devem ser inseridos pelo usuário do sistema. Esses dados são detalhados no trabalho de [14].

3) *Módulo de cálculo*: Com a obtenção dos dados pelo módulo de captura, o módulo de cálculo opera automaticamente. Quando o sistema já possui todas as informações necessárias das culturas que estão sendo irrigadas e dos turnos de rega de cada cultura, os cálculos são realizados diariamente para determinar a lâmina de água que cada planta deve receber.

As lâminas de água aplicadas a cada cultura é calculada com base na evapotranspiração potencial (ETP), estimada

TABELA II
DADOS QUE DEVEM SER INFORMADOS PELO USUÁRIO

Sigla	Descrição	Unidade de Medida
CC	Capacidade de Campo	(%)
PMP	Ponto de Murcha Permanente	(%)
D	Densidade do Solo	(g/cm ³)
Z	Profundidade do Sistema Radicular	(mm)
KC	Coefficiente de Cultura	-
F	Fator de Disponibilidade de Água no Solo	(%)
TR	Intervalo de dias do Turno de Rega	(dias)

pela equação de Penman-Monteith, com adoção do turno de rega variável. Esse método consiste em uma adaptação do modelo original proposto por Penman, onde foram introduzidos os conceitos de resistência do dossel (r_c) e de resistência aerodinâmica (r_a) [15]. O método de Penman-Monteith é considerado como padrão de estimativas da evapotranspiração de referência pela ICID (Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem), e também, pela FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) [16].

Para estimativa da evapotranspiração potencial, são utilizados dados fornecidos pela estação meteorológica automatizada. Os valores do turno de rega, evapotranspiração de cultura (ETC), capacidade de água disponível no solo (CAD), água facilmente disponível inicial (AFDi), água facilmente disponível final (AFDf) e déficit hídrico (DF) são calculados segundo [17]. A Tabela III apresenta os cálculos necessários para chegar aos valores citados.

TABELA III
CÁLCULOS UTILIZADOS PARA DEFINIR IRRIGAÇÃO

Cálculo	Equação	Unidade de Medida
ETC	CC * KC	(mm)
CAD	0,01 * (CC - PMP) * D * Z	(-)
AFDi	CAD * F	(mm)
AFDf	(AFDi + P) - ETP	(mm)
DF	(F * CAD) - AFDf	(mm)

Assim, o tempo de irrigação é calculado exatamente com base no DF da planta, fator muito importante para evitar que a planta sofra estresse hídrico causado tanto pela falta quanto pelo excesso de água recebido. Para definir o tempo de funcionamento das válvulas de irrigação o sistema apenas utiliza o DF já calculado e divide pelo volume de água lançado pelos aspersores (LA). Exemplo: DF = 15 mm e LA = 4,8 mm/h então, o tempo de irrigação é 15 dividido por 4,8 que dá aproximadamente 03:07hs.

4) *Módulo de acionamento*: Com os resultados obtidos pelo módulo de cálculo, o sistema possui precisamente o tempo necessário que cada válvula de irrigação deve permanecer ligada para fornecer a quantidade de água exata para a cultura. O módulo de acionamento é responsável pela comunicação com o microcontrolador (veja Seção III-E), através da porta de comunicação USB (*Universal*

Serial Bus). Esse módulo envia os sinais para ativar ou desativar cada válvula de irrigação. O sinal a ser enviado é binário, ou seja, 0 (zero) indica que é para a válvula ser desativada e 1 (um) indica que é para ser ativada. A Figura 6 ilustra a forma de acionamento.

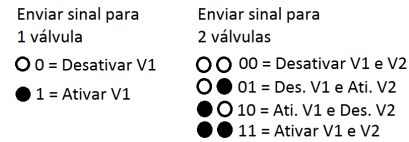


Fig. 6. Sinais enviados ao microcontrolador para acionar as válvulas.

E. Plataforma Arduino

O Arduino é uma placa de controle I/O (*Input/Output*) baseada no microcontrolador Atmega (Atmel) que serve de controle para diversos outros sistemas [18]. O diferencial dessa placa é que ela é desenvolvida e aperfeiçoada por uma comunidade que divulga as suas placas e seus códigos de aplicação, pois a concepção da placa é *open-source*. Isso significa que qualquer pessoa pode fazer as alterações que julgar necessárias nas configurações da placa.

Segundo [19], o Arduino pode ser usado para desenvolver objetos interativos, tomando entradas de vários *switches* ou sensores e controlando uma variedade de luzes, motores, mecanismos, entre outras saídas. Os projetos do Arduino podem tanto ser autônomos, como se comunicar com *softwares*.

O Arduino funciona como uma ponte de ligação entre o *software* e as válvulas de irrigação que são acionadas por meio de relés solenoides. A Figura 7 e a Figura 8 representam os relés solenoides e as válvulas de irrigação nessa ordem. Assim que os sinais são enviados pelo *software* através de um conector USB, sua função é interpretar esses sinais e acionar ou desativar a válvula de irrigação por meio do relé solenoide.

Uma plataforma Arduino pode ser ligada a vários módulos relés simultaneamente, com isso, o sistema consegue controlar diversas válvulas em paralelo. Se cada válvula estiver responsável por irrigar uma cultura diferente, é possível monitorar o tempo de irrigação de cada uma dessas culturas separadamente. Logo, o sistema está adaptado para trabalhar em propriedades que necessitam de irrigar mais de uma espécie de planta.

1) *Comunicação sem fio*: Os relés solenoides são ligados às válvulas de irrigação que ficam no campo, ou seja, não ficam a uma distância acessível de um computador. Por esse motivo é inviável levar os fios elétricos das válvulas e da motobomba até o servidor local. Dessa forma utilizamos o *kit xbee wireless*, responsável por enviar o sinal que o Arduino recebeu do *software* para os relés solenoides. Como o Arduino não é capaz de transmitir sinal sem fio, o *xbee* é um módulo que pode ser acoplado a plataforma e realizar essa tarefa.

Esse equipamento deve ficar em um ambiente arejado e não deve ser exposto diretamente aos raios solares e nem

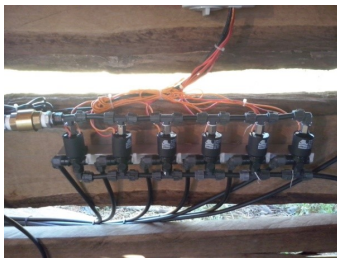


Fig. 7. Relés solenoides instalados na propriedade rural. Os relés são responsáveis pela abertura e fechamento das válvulas de irrigação e são controlados pelo sistema.



Fig. 8. Válvulas de irrigação automáticas instaladas na propriedade rural. As válvulas recebem as instruções de abertura e fechamento do sistema por meio dos relés solenoides.

receber qualquer volume de água, pois em qualquer um dos casos poderá vir a diminuir seu tempo de vida útil ou mesmo danificá-lo. A Figura 9 representa o esquema de como funciona esse equipamento.

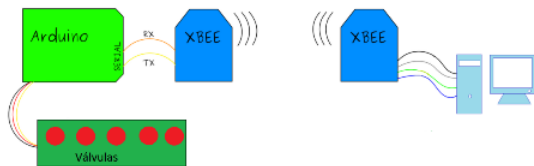


Fig. 9. Sistema de comunicação sem fio entre a plataforma Arduino e o sistema *desktop*.

IV. EXPERIMENTOS

O sistema proposto foi implementado por uma equipe formada por alunos e professores da Universidade Federal de Viçosa - campus Rios Paranaíba. Contudo, sua implementação no campo é recente e os dados obtidos desde sua implementação não são suficientes para demonstrar sua eficiência, pois é preciso um longo período de tempo para uma análise confiável. Com isso em vista, utilizamos o sistema proposto para fazer simulações de períodos de irrigação a partir de dados reais obtidos do sistema de irrigação utilizado pela Fazenda Cascudo situada no município de Rio Paranaíba, MG - Brasil, localizada geograficamente nas coordenadas 19°09'48,41" Sul e 46°34'63" Oeste, com altitude de 877 m. Os dados foram obtidos entre 01/06/2009 até 31/05/2014, ou seja, durante um período de cinco anos. A fazenda é gerenciada por um casal de proprietários e a fonte de renda dessa propriedade é baseada exclusivamente no leite ordenhado das vacas.

Para garantir uma boa produção leiteira durante todo o ano é muito importante que a pastagem dos animais esteja em boas condições e irrigada.

Essa propriedade possui um sistema de irrigação semi-automatizado para controlar o manejo da água que é aplicado a pastagem. Esse sistema utiliza um programador controlável que liga e desliga as válvulas de irrigação sempre no mesmo horário e pelo mesmo período de tempo. A propriedade rural da aplicação conta atualmente com vinte e três piquetes de pastagem todos irrigados, onde cada piquete tem 3300 m² de comprimento e possui doze aspersores com vazão 1,49 m³/h. A Figura 10 apresenta a divisão desses piquetes. É preciso informar que cinco dos piquetes apresentados possuem uma alta heterogeneidade de culturas. Portanto, a fim de garantir uma maior precisão dos cálculos, é utilizado apenas dezoito dos piquetes de pastagem na simulação feita neste trabalho. Nesses piquetes predomina o Capim Braquiarião (*Brachiaria Brizantha cv. Manduru*) e, por esse motivo, a simulação apresentada neste trabalho é feita com base nesta cultura.

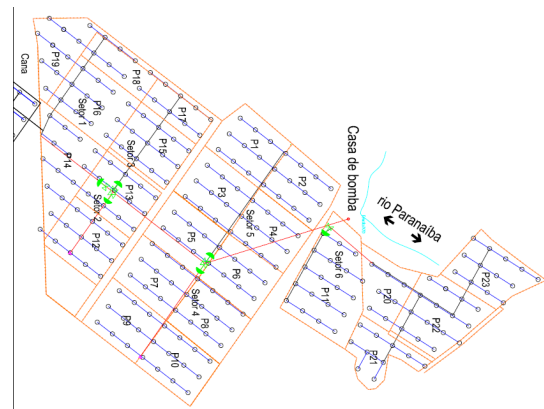


Fig. 10. Divisão dos piquetes de pastagem da Fazenda Cascudo.

O experimento apresentado neste trabalho consiste em uma simulação da aplicação do sistema desenvolvido. Os resultados da simulação são comparados com os dados da irrigação realizada na Fazenda Cascudo durante o mesmo período de tempo. Como autores, entendemos que dados obtidos do uso real da plataforma teria apelo. Contudo, para se obter dados significativos de economia de água sobre a aplicação da plataforma, é necessário obter dados de grandes períodos de tempo, pois esses podem ser influenciados pelo clima (muito seco ou chuvoso). Adicionalmente, é possível calcular o consumo de água exato do sistema, pois ele foi desenvolvido para isso e resultados reais devem ser idênticos aos calculados, ou o sistema estaria defeituoso por definição. Contudo, não é possível estimar qual seria o consumo de água sem o sistema no mesmo local, ao mesmo tempo, por esse ser totalmente arbitrário, operado pelo funcionário da propriedade, durante um tempo arbitrário definido pelo próprio funcionário e sua experiência. Portanto, como é possível estimar o consumo do sistema durante um grande período e é impossível fazer o mesmo sem o sistema, obtivemos dados reais da propriedade

antes de instalar o sistema e fizemos uma simulação pelo sistema durante o mesmo período analisado. Só assim, conseguimos comparar dados de um mesmo local e mesmo período de tempo com e sem o uso do sistema.

Insistimos que os cálculos realizados para este trabalho possuem a quantidade exata do consumo de água estimado para os períodos apresentados pelo sistema, que é exatamente igual ao real se o sistema funcionar corretamente. Os resultados são apresentados nas Tabelas IV e V. Nos próximos anos, a partir da aplicação/uso do trabalho desenvolvido, estimamos ter os dados reais/práticos significativos, ou seja, sobre um período de tempo considerável.

A simulação para comparar a eficiência entre o sistema proposto neste trabalho e o sistema utilizado pela Fazenda Cascudo foi realizada no laboratório de pesquisa da instituição dos autores. É utilizado um computador com as características já descritas na Seção III-D para executar o *software desktop*. Os dados da estação meteorológica do período de Junho de 2009 a Maio de 2014 foram importados para o Banco de Dados. Dessa forma, o *software desktop* capturou os dados climáticos diretamente do banco para realizar os cálculos. Dentro do período citado, o sistema calculou a irrigação necessária de todos os turnos de rega. Para validar o módulo de acionamento das válvulas em cada turno, foi conectado ao Arduino um módulo com relés, aonde cada relé representa uma válvula de irrigação. Com isso, foi feita uma observação para verificar se o LED (*Light Emitting Diode*) ligado ao relé era acionado automaticamente pelo sistema, e também, se o mesmo permanecia acionado durante o tempo exato que foi calculado para irrigar.

A. Resultados Obtidos

Dado o cenário apresentado, os valores relativos ao consumo de água (em litros) pelo método convencional e por meio do cálculo do sistema proposto são apresentados na Tabela IV de duas formas: o valor a esquerda (fora de parênteses) corresponde a soma absoluta dos consumo anual no período de 12 meses e o valor a direita (dentro de parênteses) corresponde a média do consumo por irrigação durante esse período. É importante destacar que o método convencional utilizado pela propriedade consiste em irrigar as pastagens em intervalos de valor fixo e iguais.

TABELA IV
DIFERENÇAS ENTRE CONSUMO DE ÁGUA.

Período	Convencional (l)	Sistema (l)
01/06/2009 31/05/2010	$59,218 \times 10^6$ (1,287 $\times 10^6$)	$55,962 \times 10^6$ (1,216 $\times 10^6$)
01/06/2010 31/05/2011	$61,793 \times 10^6$ (1,287 $\times 10^6$)	$58,971 \times 10^6$ (1,228 $\times 10^6$)
01/06/2011 31/05/2012	$55,356 \times 10^6$ (1,287 $\times 10^6$)	$52,878 \times 10^6$ (1,229 $\times 10^6$)
01/06/2012 31/05/2013	$60,505 \times 10^6$ (1,287 $\times 10^6$)	$58,129 \times 10^6$ (1,236 $\times 10^6$)
01/06/2013 31/05/2014	$61,793 \times 10^6$ (1,287 $\times 10^6$)	$57,995 \times 10^6$ (1,208 $\times 10^6$)

Por meio dos resultados apresentados na Tabela IV, é possível verificar que houve economia de água para todos os períodos estudados. A fim de verificar se a diferença entre os resultados dos métodos comparados possui significância, aplicamos dois testes estatísticos. O primeiro é o teste *t* de Student, com 95% de confiança [20]. Como o teste *t* de Student assume que a variância das amostras é semelhante, optamos por utilizar o teste não-paramétrico Wilcoxon/Mann-Whitney para duas amostras com 95% de confiança. A eficiência do teste Wilcoxon/Mann-Whitney é próxima de 95% em relação a testes paramétricos como o teste *t* ou o teste *z*, mesmo quando os dados seguem uma distribuição normal [20].

Por meio dos testes estatísticos, foi possível comprovar que o sistema permite a economia de água significativa para todos os resultados comparados, dentro do intervalo de confiança dos testes. Além da economia de água, o sistema permite economizar também energia elétrica. A Tabela V mostra um comparativo do consumo de energia utilizando o mesmo cenário supracitado. Os valores entre parênteses é o consumo médio por irrigação e o valor fora do parênteses é o valor total no período.

TABELA V
DIFERENÇAS ENTRE CONSUMO DE ENERGIA.

Período	Irrigação Fazenda (kw)	Irrigação Sistema (kw)
01/06/2009 31/05/2010	3128 (68)	2975 (64)
01/06/2010 31/05/2011	3264 (68)	3135 (65)
01/06/2011 31/05/2012	2924 (68)	2814 (65)
01/06/2012 31/05/2013	3196 (68)	3089 (65)
01/06/2013 31/05/2014	3264 (68)	3086 (64)

Os dados presentes na Tabela V permitem concluir que o sistema proposto também permite uma redução no consumo de energia. Apesar desta redução ser pequena para cada irrigação efetuada, o sistema permite uma redução significativa se todo o período for considerado. Os testes estatísticos *t* e Wilcoxon/Mann-Whitney também foram aplicados com as amostras de consumo de energia e foi comprovada a diferença significativa para ambos os testes, com 95% de confiança.

A fim de permitir uma melhor visualização desta economia a longo prazo, um gráfico com a soma total de consumo todos os períodos é apresentada na Figura 11 e na Figura 12.

Apesar da economia de água e energia ser pontual para cada período de irrigação apresentado nas Tabelas IV e V, o impacto acumulado durante todos os períodos analisados pode ser considerado significativo, pois há uma economia de centenas de milhões de litros d'água e milhares de watts de energia como mostra os gráficos acima.

V. CONCLUSÃO

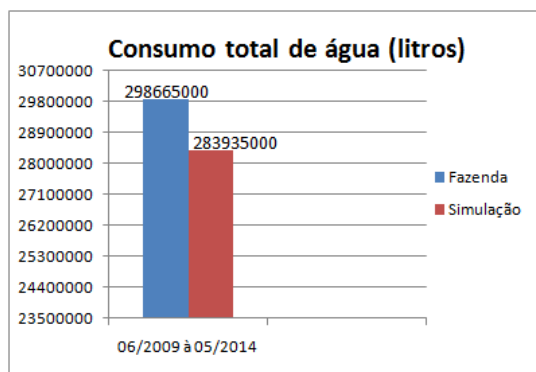


Fig. 11. Gráfico com o resultados total do consumo de água

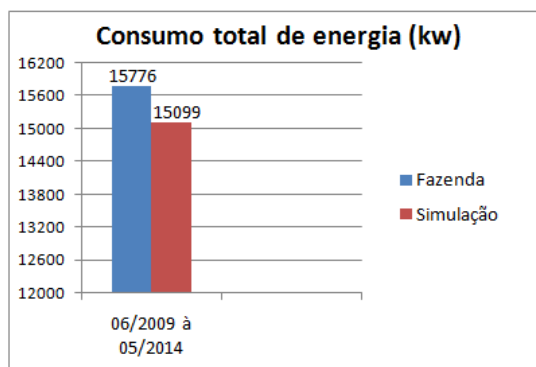


Fig. 12. Gráfico com o resultado total do consumo de energia

A partir dos resultados obtidos em nosso experimento simulado, foi possível concluir que o sistema resulta em uma economia considerável de recursos hídricos e energéticos. É importante ressaltar que o sistema de controle de irrigação desenvolvido neste trabalho teve seus resultados comparados aos de um sistema semi-automatizado de controle manual que é amplamente utilizado no manejo de irrigação em propriedades rurais de todo o país.

A manutenibilidade do sistema possui um custo significativamente baixo, pois os únicos gastos que exige é com a hospedagem da parte *web/mobile* em um servidor *web* e com a energia elétrica consumida por um computador (servidor local) ligado vinte e quatro horas por dia. Porém, é um investimento que se paga com o acesso e segurança proporcionado por uma plataforma *web*, que permite o gerenciamento remoto de todo o manejo de irrigação e uma aplicação *mobile* que visualiza o acompanhamento da irrigação em tempo real.

Este trabalho não faz uma avaliação do desempenho funcional do sistema quando exposto a condições adversas de clima, temperatura, etc. Como proposta de trabalho futuro, a total implementação, produção e replicação do sistema. Além disso, também é de interesse uma análise do seu funcionamento em cenários de adversidades climáticas e problemas cotidianos, como quedas de energia e limitação de conexão com a internet.

Os autores agradecem a FAPEMIG, CNPq e Indústria de Rações Patense pelo fomento ao trabalho realizado.

REFERÊNCIAS

- [1] C. d. L. T. Andrade, *Seleção do Sistema de Irrigação*, MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970, Sete Lagoas, MG, 2001.
- [2] V. P. d. S. Paz, R. E. F. Teodoro, and F. C. Mendonça, "Recursos Hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. v.4, pp. 465-473, 2000.
- [3] I. Hespanhol, "Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos," *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. v.7, pp. 75-95, 2002.
- [4] C. A. B. Alencar, F. F. Cunha, M. M. Ramos, A. A. Soares, T. d. A. Pizziolo, and R. A. Oliveira, "Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por miniaspersão," *Engenharia na Agricultura*, vol. v.15, pp. 109-118, 2007.
- [5] L. O. Medici, H. S. Rocha, D. F. Carvalho, C. Pimentel, and R. A. Azevedo, "Automatic controller to water plants," *Scientia Agrícola*, vol. v.67, pp. 727-730, 2010.
- [6] J. K. Geetha and M. Monika, "Web Application Testing : A Survey," *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, vol. v.1, no. 6, pp. 69-71, 2013.
- [7] A. P. P. M. Guirra and E. R. Silva, "Automação em Sistemas de Irrigação," FAZU, Tech. Rep. 2177-854X, 2010.
- [8] A. B. M. Macedo, F. R. Miranda, R. R. G. Filho, A. d. S. Teixeira, J. A. H. J. Cavalcante, and H. F. Araújo, "Desempenho de um sistema de irrigação automatizado através da tensão de água no solo," *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, vol. v.4, pp. 78-81, 2010.
- [9] V. G. Guimarães, "Automação e monitoramento remoto de sistemas de irrigação visando a agricultura familiar," 2012, anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática.
- [10] L. I. Almeida, I. F. C. Fernandes, and C. M. Costa, "Sisci - sistema para controle de irrigação através de dispositivos celulares," *HOLOS*, vol. v.1, pp. 147-156, 2012. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2012.681>
- [11] D. F. B. Rodrigues and C. D. G. C. Almeida, "The irrigation scheduling igdroid tool," *IRRIGA*, pp. 21-28, 2014, edição Especial 01.
- [12] J. Ross, *Redes de Computadores*, 1st ed., 2008, editora Almeida e Porto Livros Técnicos Ltda.
- [13] F. A. Silva and G. Sanches, "Desenvolvimento de um software de acesso remoto e controle de área de trabalho de um computador através da web," *Colloquium Exactarum*, no. 02, pp. 62-69, 2010.
- [14] J. A. Monte, A. S. Pacheco, D. F. Carvalho, and C. Pimentel, "Influência do turno de rega no crescimento e produção do tomateiro no verão em Seropédica," *Horticultura Brasileira*, no. 27, pp. 222-227, 2009. [Online]. Available: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v27n2/v27n2a18>
- [15] J. Monteith et al., "Evaporation and environment," *Symp. Soc. Exp. Biol.*, vol. v.19, no. 205-23, p. 4, 1965.
- [16] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, "Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements," *FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations*, vol. v.56, 1998.
- [17] S. Bernardo, A. A. Soares, and E. C. Mantovani, *Manual de irrigação*, 8th ed. Editora UFV, 2008.
- [18] M. Banzi, *Primeiros Passos com o Arduino*, 1st ed., 2011, novatec Editora Ltda.
- [19] J. D. Warren, J. Adams, and H. Molle, *Arduino Robotics*, 2011, editora Apress.
- [20] M. Triola, *Elementary statistics*. Pearson/Addison-Wesley, 2004.