



## **CONTROLADOR DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO PARA PASTAGEM EM CLIMA SUBTROPICAL**

José Eduardo Pitelli Turco<sup>1</sup>  
Ruy de Aguiar Araújo Júnior<sup>2</sup>

### **Recursos Hídricos e Qualidade da Água**

#### **Resumo**

Com este trabalho o objetivo foi desenvolver um controlador de irrigação para pastagem em clima subtropical. A irrigação é estabelecida a partir de uma rede de sensores sem fio (WSN), composta por um nó sensor (responsável pelo monitoramento da temperatura e precipitação), uma estação base (responsável pela tomada de decisões a partir do processamento de dados provenientes do Nó do Sensor) e um Nó do Atuador (responsável por acionar a bomba e as válvulas). O equipamento desenvolvido é capaz de aplicar a água em turnos de rega e lâminas variáveis. Para utilizar o controlador de irrigação será necessário a calibração local da equação de Hargreaves, conhecer o(s) coeficiente(s) da cultura (Kc) e os limites de capacidade de campo e de ponto de murcha permanente do solo (análise da retenção da água no solo), no intuito de estabelecermos um parâmetro de disponibilidade hídrica a ser utilizada pela cultura. A partir dos resultados concluiu-se que o controlador é eficaz e difere dos existentes por não ter sensor de umidade do solo devido a impactos do pisoteio animal em áreas de pastagem.

**Palavras-chave:** Clima; Automação; Comunicação sem fio.

---

<sup>1</sup> Prof. Adjunto III, Dep. de Engenharia e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Jaboticabal, CEP:14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil, (16) 32097278, e-mail: [jose.turco@unesp.br](mailto:jose.turco@unesp.br)

<sup>2</sup>Prof. Doutor, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Campus de Patos de Minas, CEP: 38706-328, Patos de Minas, Minas Gerais, Brasil, (34) 38208700, e-mail: [ruy@iftm.edu.br](mailto:ruy@iftm.edu.br)

## INTRODUÇÃO

A irrigação aumenta a produção de carne e leite em regiões onde as chuvas são escassas ou de distribuição irregular. A disponibilidade de água, via irrigação, proporciona melhoria da distribuição de água ao longo do ano em quantidade adequada para as culturas destinadas à produção de volumosos, além de minimizar problemas com a estacionalidade da produção (RIBEIRO et al., 2009).

A irrigação possibilita aumentos de produção de forragem quando comparados com pastos em sequeiro, variando de cerca de 2,27% até 12,3%. (GOH e BRUCE, 2005)

O método de irrigação mais usado em pastagens no Brasil é a aspersão e os sistemas mais utilizados são aspersão fixo permanente e pivô central (RIBEIRO et al., 2009). O sistema de irrigação por aspersão fixo permanente ou semifixo foi desenvolvido na década de 1990 e demanda baixa pressão para funcionamento. É um dos tipos de irrigação do sistema de aspersão convencional em que as linhas principais, secundárias e laterais são em quantidades suficientes para irrigar toda a área. Apesar disso, a irrigação é feita com o funcionamento de determinado número de aspersores por vez, de acordo com o turno de rega.

O uso da automação na agricultura permite uma eficiência e redução no consumo da água, além de manter um melhor controle e monitoramento da plantação, garantindo a manutenção e qualidade na produtividade (PFITSCHER et al., 2011).

O arduíno é muito utilizado na automação, pois permite que profissionais de diversas áreas criem projetos para controlar e monitorar processos de forma automática, seu uso na irrigação serve para obter o uso eficiente da água no cultivo, obtendo uma economia e garantindo a qualidade dos produtos (EVANS et al., 2013).

Com este estudo o objetivo foi desenvolver um controlador de irrigação para pastagem em clima subtropical (hardware e software) automático, com tecnologia de comunicação sem fio, que aplica a água em turno de rega e lâminas variáveis.

Realização

Apoio

## METODOLOGIA

O Controlador de Irrigação foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação, Automação e Processamento (LIAP) do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP, situada em torno das coordenadas geográficas 21° 15'22" S e latitude 48° 18'58" W e altitude de 575 m, na cidade de Jaboticabal, SP. O clima de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (subtropical)

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do controlador possui as seguintes características:

I) O manejo da irrigação foi estabelecido via monitoramento da temperatura do ar e da precipitação sob controle em malha fechada, a partir de um valor referencial de 20 mm, dentro da Capacidade de Água Disponível (CAD);

II) O parâmetro para a reposição de água no solo foi baseado na estimativa da evapotranspiração pelo método de Hargreaves com calibração local em relação à evapotranspiração estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO 56);

III) A lâmina de reposição de água foi estabelecida a partir do acúmulo diário entre a evapotranspiração da cultura e a precipitação, para os quatro setores. No entanto, caso seja necessário, o controlador pode aplicar taxas variadas para os setores, independentemente um do outro, tanto no que se refere ao valor da lâmina quanto à frequência de aplicação;

IV) Sua constituição foi dividida em três módulos: Estação Base, Nó sensor e Nó Atuador.

### **Supervisão do controle em malha fechada**

Os controladores que supervisionam os sistemas em malha fechada possuem como principal característica, um sinal de saída que exerce ação de controle sob o sistema de irrigação, ou seja, cada entrada de referência de forma dinâmica, corresponde a uma

Realização

Apoio

condição variável de operação, portanto, o acionamento da irrigação sofre variações em função das condições climáticas.

### **Estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves**

A evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) é a perda d'água de uma superfície gramada. Neste projeto de pesquisa foi utilizado o método de Hargreaves (1994) com calibração local (TURCO, 2020) em relação ao método de Penman-Monteith FAO56 (ALLEN et al., 2006).

#### **Método de Hargreaves (1994)**

$$ET_{oH} = 0,0023 \times \frac{R_a}{59} \times (T_{Max} - T_{Min})^{0,424} \times \left( \frac{T_{Max} + T_{Min}}{2} + 1,8 \right) \quad (1)$$

Em que,

$ET_{oH}$  - Evapotranspiração de referência, em gramado,  $mm \text{ dia}^{-1}$ ;

$R_a$  - Radiação extraterrestre ( $mm \text{ d}^{-1}$ );

$T_{Máx}$  - Temperatura máxima ( $^{\circ}C$ )

$T_{Mín}$  - Temperatura mínima ( $^{\circ}C$ )

A temperatura foi medida por um sensor com sonda de aço inoxidável e à prova d'água, fabricado pela Maxim Integrated modelo DS18B20, instalado em um abrigo para não expor o mesmo a raios solares e às precipitações.

Quanto à radiação solar extraterrestre, seus valores foram obtidos em função da latitude local, a partir dos dados interpolados de Napier Shaw, citado por Turco e Chaves (2018), tendo como parâmetro máximo da atmosfera, o 15º dia de cada mês entre as latitudes 10°N e 40°S.

Estimada a evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves, calculou-se a evapotranspiração da cultura ( $K_C$ ) pela Equação 2:

$$ET_C = ET_{oH} \times K_C \quad (2)$$

Em que,

$ET_C$  - Evapotranspiração da forrageira ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$ET_{oH}$  - Evaporanspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$K_C$  - Coeficiente da forrageira (adimensional)

O coeficiente de cultura ( $K_C$ ) da forrageira foi fixado em 0,8 conforme proposto por Allen et al. (2006), pois foi considerado que o sistema seria de pastejo rotacionado.

### **Calibração dos sensores**

Dada a importância dos valores medidos para a estratégia de controle, foi realizado um procedimento de calibração dos sensores de temperatura e de precipitação no Laboratório de Instrumentação Meteorológica (LIM) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), situado no município de Cachoeira Paulista, estado de São Paulo.

### **Valor da lâmina de reposição da água**

A curva de retenção representa a variação do conteúdo de água e seu potencial no solo e como cada um possui seu comportamento característico, conseqüentemente cada um apresentará sua capacidade específica. Portanto, justifica-se a necessidade de conhecermos o intervalo entre os limites máximo (capacidade de campo) e mínimo (ponto de murcha permanente) da umidade do solo, no intuito de estabelecermos um parâmetro de disponibilidade hídrica a ser utilizada, sem afetar a produtividade da forrageira.

Realização

Apoio

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Tarefas executadas pelo controlador

O controlador desenvolvido utiliza tecnologia brasileira de comunicação sem fio (BE 900) e supervisiona toda a área a ser irrigada com dois sensores (temperatura e precipitação). Outra característica, é que caso seja detectada alguma precipitação durante o acionamento de um dos setores, além de desligar o sistema de irrigação (bomba e válvulas), no dia seguinte ele desconta da evapotranspiração da cultura, a quantidade de água precipitada, bem como acrescenta a quantidade de água restante que deveria ter sido aplicada no dia anterior, mas que foi interrompida devido à precipitação.

As equações utilizadas nos cálculos da lâmina acumulada (reposição) e no tempo de irrigação, podem ser visualizadas abaixo:

Temperaturas máxima e mínima, corrigidas em função da calibração:

$$T_{\text{Min}} \text{ corrigida} = (T_{\text{Min}} \times 1,0215) + 0,0113 \quad (3)$$

$$T_{\text{Máx}} \text{ corrigida} = (T_{\text{Máx}} \times 1,0215) + 0,0113 \quad (4)$$

Evapotranspiração estimada pelo método de Hargreaves para o município de Jaboticabal:

$$ET_{\text{OH}} = 0,0023 \times \frac{R_a}{59} \times (T_{\text{Máx}} - T_{\text{Min}})^{0,424} \times \left( \frac{T_{\text{Máx}} + T_{\text{Min}}}{2} + 1,8 \right) \quad (5)$$

Evapotranspiração da cultura com um coeficiente fixo no valor de 0,8:

$$ET_C \text{ do dia} = ET_{\text{OH}} \text{ corrigida do dia} \times 0,8 \quad (6)$$

Realização

Apoio

Precipitação do dia:

$$\text{Precipitação do dia} = \text{N}^\circ \text{ de basculadas} \times 0,49 \quad (7)$$

Após o processo de calibração, a resolução encontrada para cada basculada do pluviômetro, foi de 0,49:

Ressalta-se que para fins de cálculo, a precipitação é quantificada sempre de um dia para o outro, especificamente entre às 22h01 e 21h59. Portanto, uma ocorrência até às 21h59 é contabilizada nos cálculos do mesmo dia, enquanto que uma precipitação às 22h01 é contabilizada nos cálculos do dia seguinte.

Lâmina do dia:

$$\text{Lâmina do dia} = \text{ETC do dia} - \text{Precipitação do dia} \quad (8)$$

Se a lâmina do dia for  $< 0$ , a lâmina acumulada para o dia seguinte será zero

Lâmina acumulada:

$$\text{Lâmina acumulada} = \sum \text{Lâmina dos dias} \quad (9)$$

Se a lâmina acumulada for  $\geq 20$  mm  $\rightarrow$  inicia-se a irrigação

Lâmina efetiva aplicada:

$$\text{Lâmina efetiva aplicada} = \frac{\text{Lâmina acumulada}}{\text{Eficiência de aplicação}} \quad (10)$$

Tempo de irrigação:

$$\text{Tempo de irrigação} = \frac{\text{Lâmina efetiva aplicada}}{\text{Intensidade de aplicação}} \quad (11)$$

Realização

Apoio

## **Partes integrantes do controlador**

O controlador possui três módulos de comunicação por radiofrequência, constituindo uma pequena rede de sensores sem fio (WSN) baseada na plataforma Rádiuino (tecnologia brasileira) e desenvolvida para operar em um sistema de irrigação por aspersão convencional:

### **Nó Sensor**

Responsável pela aquisição das informações de temperatura e precipitação e consequentemente envio à estação Base (Figura 01).

### **Estação Base**

Responsável pelo processamento dos dados (visualização em tempo real das informações enviadas pelo Nó Sensor, tomada de decisão e consequentemente envio ao Nó Atuador (Figura 01).

### **Nó Atuador**

Responsável pelo acionamento da bomba e das válvulas (Figura 01).

## **Plataforma Rádiuino – BE 900**

O objetivo principal de uma rede de sensores sem fio (WSN) é realizar o monitoramento distribuído em uma determinada área, por isso é uma rede composta por sensores autônomos com aplicações específicas e cuja comunicação entre seus nós (sensores, base e atuadores) é realizada por radiofrequência (RF) baseada em alguma plataforma de comunicação. Neste trabalho, o WSN desenvolvido utilizou uma plataforma de comunicação brasileira chamada “Rádiuino”, que possui o mesmo IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) do Arduino e além de permitir que a Estação

Realização

Apoio

Base seja conectada a um computador via USB ou internet, o hardware (Figura 01) é de baixo custo e seu código-fonte pode ser alterado por qualquer pessoa (código-fonte aberto). Os resultados obtidos com a tecnologia de comunicação sem fio utilizada neste trabalho corroboram com os obtidos por Cavalcante et al. (2020) que utilizaram uma rede de sensores sem fio para monitoramento remoto de umidade de solo em plantações de fruticultura irrigada, em uma estação terrestre por meio de comunicação sem fio para controle de irrigação de precisão.

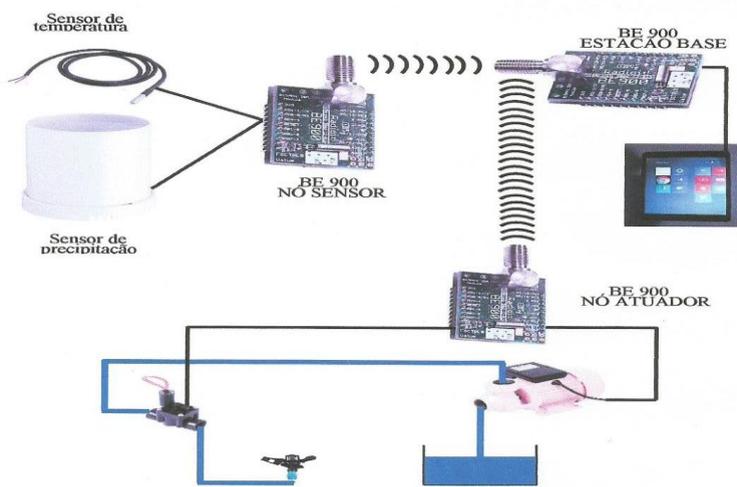


Figura 01: Aplicação da plataforma Rádiumino (BE 900).

A comunicação entre os módulos (nós) é estabelecida por meio de firmwares e software de gerenciamento. Firmware é um programa de computador armazenado na memória de um circuito integrado cuja função é controlar o hardware (BE 900) por meio de uma sequência de instruções.

Neste trabalho, foram utilizados três BE 900s com diferentes funções: detecção da variável de controle (Nó Sensor), supervisão e processamento (Estação Base) e execução da ação de controle (Nó do Atuador). O software usado para controlar os dados foi o Python, e é por meio disso que o controle do roteamento de dados é realizado: o nó Sensor envia um pacote de dados para a Estação Base, a Estação Base trata as

informações, imprime na tela do tablet e, se for o caso, envia um pacote de dados ao nó do atuador para ativar ou desativar a bomba / válvula.

Uma vez definida todas as equações a serem executadas pelas rotinas do controlador, em cada firmware dos módulos de comunicação (Nó Sensor, Nó Atuador e Estação Base), determinou-se os testes de avaliação do modelo matemático, da eficiência de controle e do alcance de comunicação:

Teste 1: sistema de irrigação sem ocorrência de precipitação;

Teste 2: sistema de irrigação com precipitação menor do que a lâmina acumulada do dia;

Teste 3: sistema de irrigação com precipitação maior do que a lâmina acumulada do dia;

Teste 4: sistema de irrigação com precipitação durante o acionamento do setor 1;

Teste 5: avaliação de alcance entre os módulos de comunicação.

Os testes de avaliação do modelo matemático e da eficiência de controle foram realizados dentro do laboratório de Instrumentação, Automação e Processamento (LIAP) do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas.

### **Calibração dos sensores**

As calibrações dos sensores de temperatura e de precipitação foram realizadas buscando atender o padrão que possui rastreabilidade ao NVLAP – National Voluntary Laboratory Accreditation Program, dos EUA e um sistema que tem rastreabilidade à Rede Brasileira de Calibração, RBC, do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, INMETRO.

Gutierrez et al. (2014) desenvolveram um sistema irrigação automatizado. O sistema possui uma rede sem fio distribuída de sensores de umidade e temperatura do solo colocados na zona da raiz das plantas. O controlador de irrigação desenvolvido neste trabalho difere do desenvolvido por Gutierrez et al. (2014), não utilizando sensores de umidade do solo devido a impactos do pisoteio animal em áreas de pastagem.

Realização

Apoio

## CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controlador aplica da água em turnos de rega e lâminas variáveis, possibilitando uma melhoria da eficiência de utilização na gestão da irrigação e difere dos existentes por não ter sensor de umidade do solo devido a impactos do pisoteio animal em áreas de pastagem.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estudio FAO Riego e Drenaje, 56).
- CAVALCANTI, A.J.F.N.; CORREIA, F.P.; BRITO, J. A. Validação de uma rede de sensores sem fio aplicada à fruticultura irrigada do vale do São Francisco. **Brazilian Applied Science Review**, v.4, n.5, p.2763-2780, 2020.
- EVANS, M; NOBLE, J; HOCHENBAUM, J. **Arduíno em Ação**. São Paulo: Novatec, 2013.
- GOH, K. M; BRUCE, G. E. Comparison of biomass production and biological nitrogen fixation of multi-species pastures (mixed herb leys) with perennial ryegrass-white clover pasture with and without irrigation in Canterbury, New Zealand, **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.110, n.3-4, p.230-240, 2005.
- GUTIERREZ, J.; VILLA-MEDINA., J. F.; NIETO-GARIBAY, A.; PORTA-GANDARA, M. A. Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v.63, n.1, p. 166–176, 2014.
- HARGREAVES, G.H. Defining and using reference evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.120, n.6, p.1132-1139, 1994.
- PFITSCHER, L.L.; BERNARDON, D.P.; KOPP, L.M.; HECKLER, M.V.T.; THOME, B; MONTANI, P. Automação da Irrigação para Melhoria da Eficiência Energética em Lavouras de Arroz. In: XI Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial. 2011. **Anais... Campo Mourão: XI EEPA – 2011.Anais**.
- RIBEIRO, E.G. et al. Influência da irrigação, nas épocas seca e chuvosa, na produção e composição química dos capins napier e mombaça em sistema de lotação intermitente, **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.8, p.1432-1442, 2009.
- TURCO, J.E.P. Evapotranspiração de referência pelas equações de Hargreaves em clima tropical. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada - RBAI**. Fortaleza-CE, v.14, n.4, p. 4106 - 4117, 2020.
- TURCO, J.E.P; CHAVES, L.H. Evapotranspiração de referência pelas equações de Hargreaves na Mesorregião de Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. **Revista brasileira de agricultura irrigada – RBAI**, Fortaleza-CE, v.12, n.5, p.2964-2975, 2018