

MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DA ALFACE VIA ARDUINO UNO R3

GABRIEL GRECO DE GUIMARÃES CARDOSO¹; JOIANIAS DA SILVA CARVALHO² E JOÃO EDUARDO FERREIRA DA SILVA³

¹Faculdade de Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rodovia GO-154, Km 03, s/n, Caixa Postal 51, Ceres-GO, CEP. 76.300-000, gabriel.cardoso@ifgoiano.edu.br

²Coordenação de Infraestrutura, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rodovia GO-154, Km 03, s/n, Caixa Postal 51, Ceres-GO, CEP. 76.300-000, joianias.carvalho@ifgoiano.edu.br

³Faculdade de Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rodovia GO-154, Km 03, s/n, Caixa Postal 51, Ceres-GO, CEP. 76.300-000, joaoeduardo609@gmail.com

1 RESUMO

O objetivo do experimento foi verificar a eficiência de um protótipo para manejo da irrigação de acordo com diferentes potenciais de água no solo, tendo como base o microcontrolador Arduino modelo Uno R3. Para averiguação do funcionamento do protótipo em campo o experimento foi elaborado com 4 Tratamentos de potenciais de água no solo e 3 cultivares de alface, em delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas, com 4 repetições. Para a irrigação da alface, foram instaladas 12 linhas laterais de tubos gotejadores sobre 12 canteiros, cada um com 1 m de largura e 10 m de comprimento. A automação consistia de 4 válvulas solenoides e um conjunto motobomba que, acionados automaticamente por sinais analógicos (emitidos pelos sensores de umidade do solo instalados nos canteiros de cada Tratamento), aplicavam as lâminas de irrigação. De acordo com os resultados obtidos, o protótipo aplicou com excelência diferentes volumes de água nos Tratamentos, conforme o potencial de água no solo adotado. Houve diferença estatística na produção da alface. A automação funcionou normalmente por um período de 45 dias ininterruptos, não apresentando falhas ou danos no sistema. Concluímos que é possível realizar com eficiência a automação total da irrigação e do manejo da água com baixo custo, dispondo de equipamentos eletrônicos facilmente encontrados no mercado, obtendo uma considerável redução no uso da água e energia.

Palavras-chave: Sensor capacitivo, microcontrolador, manejo da irrigação.

**CARDOSO, G. G. G.; CARVALHO, J. S.; SILVA, J. E. F.
AUTOMATION OF LOCALIZED IRRIGATION AND WATER MANAGEMENT IN
THE CULTURE OF LETTUCE WITH ARDUINO UNO R3**

2 ABSTRACT

The objective of the experiment was to verify the efficiency of a prototype for irrigation management according to different soil water potentials, based on the Arduino model Uno R3 microcontroller. In order to verify the functioning of the prototype in the field, the experiment was elaborated with 4 treatments of water potentials in the soil and 3 lettuce cultivars, in a

completely randomized design in subdivided plots scheme, with 4 replicates. For irrigation of lettuce, 12 lateral lines of dripping tubes were installed on 12 beds, each 1 m wide and 10 m long. The automation consisted of 4 solenoid valves and a motor-pump assembly that, triggered automatically by analog signals (emitted by the soil moisture sensors installed in the beds of each treatment), applied the irrigation depths. According to the results obtained, the prototype applied with excellence different volumes of water in the treatments, according to the potential of water in the soil adopted. There was statistical difference in lettuce production. The automation worked normally for a period of 45 uninterrupted days, with no system failures or damage. We conclude that it is possible to efficiently carry out total automation of irrigation and water management with low cost, using electronic equipment easily found in the market, and thus obtaining considerable reduction in the use of water and energy.

Keywords: Capacitive sensor; microcontroller; irrigation management.

3 INTRODUÇÃO

A alface é considerada a hortaliça mundialmente mais consumida, sendo fonte de vitamina A e potássio, e de grande interesse para biofortificação com ênfase, principalmente, nos teores de vitaminas C e E, e no aumento do potencial antioxidante (LIN et al., 2013).

Segundo Batista et al (2012), a cultura da alface é explorada em todo o território nacional e constitui parcela significativa das hortaliças na dieta da população, tanto pelo sabor e baixo custo como pela qualidade nutritiva, por ser fonte de vitaminas, sais minerais e fibras. Dentre as hortaliças em que as folhas são consumidas cruas e ainda frescas, é considerada a mais popular.

Segundo Deshmukh (2011), atualmente é comum o uso de microcontroladores no controle de vários processos. Um microcontrolador é um microcomputador encapsulado em um único chip, recomendado para controle e automação de máquinas e processos. O uso desses circuitos integrados não somente reduz custo da automação como também propicia mais flexibilidade. Dentre as plataformas de desenvolvimento que utilizam microcontroladores, o Arduino tem ganhado grande destaque.

Arduino é uma plataforma de prototipagem aberta baseada em hardware flexível e de fácil utilização segundo Banzi (2011). O ambiente Arduino foi desenvolvido para ser fácil para iniciantes que não possuem experiência com desenvolvimento de software ou eletrônica (MARGOLIS, 2011).

A irrigação localizada hoje é o método de maior eficiência no uso da água, na ótica da agricultura sustentável, o que tem atraído a atenção dos produtores. De forma pontual, a água é aplicada por gotejadores ou microaspersores – assim somente a região da raiz é molhada. Desse modo são minimizadas as perdas de água por infiltração (pois não ocorre o molhamento tanto das partes do solo onde não há cultura plantada) ou evaporação (evitando a irrigação da parte aérea das plantas, como ocorre na irrigação por aspersão, que pode provocar doenças fúngicas). Dessa forma, na irrigação localizada o volume de água utilizado é menor quando comparado aos demais métodos de irrigação, sendo vantajosa sua aplicação em locais onde há limitação ou escassez de recursos hídricos ou ainda que enfrentem conflitos pelo uso da água. (GRAH et al., 2012)

Um dos principais fatores de produção na agricultura é a água, sendo que cada espécie de planta necessita de um

adequado nível de água no solo para atender suas necessidades fisiológicas (MANTOVANI et al., 2012).

Devem ser utilizadas lâminas de irrigação baseadas nos coeficientes de cultivo, de acordo com as reais necessidades hídricas demandadas pelas condições de cultivo, para que o manejo da irrigação seja realizado com eficiência. (GOMES et al., 2010).

Um dos elementos mais relevantes no controle dos processos hidrológicos é a umidade do solo, pois exerce influência na formação do escoamento superficial, na evaporação do solo, na transpiração das plantas e em uma série de interações geográficas e pedogênicas (ÁVILA et al., 2010).

Em qualquer atividade agrícola de pequeno ou grande porte, para se ter sucesso é importante controlar a umidade do solo a fim de garantir o aproveitamento eficiente da água para as culturas, principalmente em períodos de estresse hídrico, que no Brasil, usualmente, acontece no inverno. Em atividades agrícolas de pequeno porte, como é o caso da produção de hortaliças e frutas, este cuidado é essencial para garantir uma boa produção e renda para os produtores (BAYER et al., 2013). A criação de um sistema de irrigação automatizado para o controle de áreas agrícolas, não se trata de uma nova descoberta, em virtude da existência de um grande mercado voltado para esta área, mas sua tecnologia de alto custo torna difícil o acesso a pequenos e médios agricultores.

Visando contribuir com o desenvolvimento de sistemas automatizados de irrigação, este trabalho tem o objetivo apresentar os resultados obtidos na automação da irrigação com base no potencial de água no solo no cultivo da alface.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento de um protótipo controlador de irrigação foi idealizado e realizado nas dependências do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, no período de 14 de julho de 2015 a 30 de agosto de 2015. A altitude da área experimental é de 570 m, a latitude é de -15.3488° e a longitude de -49.5984° . De acordo com a classificação de Köppen, a região apresenta clima Aw, ou seja, clima tropical com estação seca no inverno.

O solo utilizado nos testes consiste em um latossolo vermelho. As amostras de solo possuem classe textural classificada como argiloso (SANTOS et al., 2013). As características químicas foram determinadas pela análise de solo, com os seguintes atributos: pH (CaCl_2) = 4,8; matéria orgânica = 10 mg dm^{-3} ; P= $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$; K= $0,09 \text{ cmolc dm}^{-3}$; Ca= $0,70 \text{ cmolc dm}^{-3}$; Mg= $0,20 \text{ cmolc dm}^{-3}$; H+Al= $2,90 \text{ cmolc dm}^{-3}$; CTC= $3,89 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e saturação por base= 25,56%.

Para comprovar a eficiência e funcionalidade da automação da irrigação via Arduino UNO R3, foi instalado um experimento envolvendo a irrigação por gotejamento na cultura da alface, onde considerou-se como Tratamentos 4 potenciais de água no solo para promoção da irrigação e 3 cultivares de alface, Americana, Crespa e Lisa. O experimento foi conduzido num delineamento inteiramente casualizado, num esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Cada repetição continha grupo de 10 alfaces, sendo considerado a média de produção do grupo para determinação da massa verde. A produção da alface se deu sobre 12 canteiros com dimensões de 10 m de comprimento e 1 m de largura, sem cobertura plástica. A produção nas bordas de cada canteiro foi descartada. O espaçamento entre canteiros foi de 1m.

Assim, utilizou-se desta metodologia para comprovar aspectos funcionais do protótipo em campo, analisando assim, comportamento diante

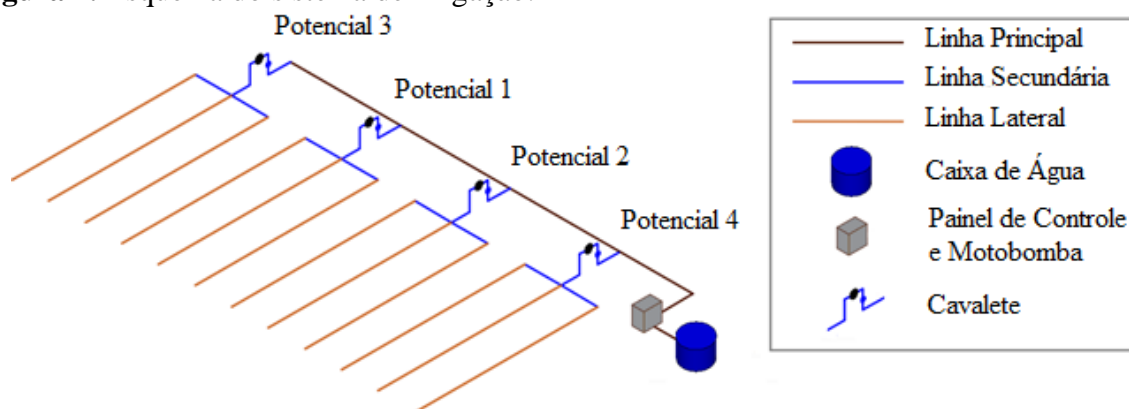
das adversidades climáticas, resistência do microcontrolador, sensores, fios e outros componentes dentre os quais integravam o protótipo

Inicialmente as mudas de alface foram irrigadas uniformemente com lâminas iguais em todos os Tratamentos de potenciais de água no solo, porém a partir do dia 30/07/2015 teve início a diferenciação das irrigações programadas na automação, perfazendo um período de 30 dias até a colheita, sem interrupção nos Tratamentos. Somente 24 horas antes da colheita, no dia 30/08/2015, irrigou-se uniformemente todos os Tratamentos para que houvesse hidratação uniforme nas alfaces de todos os Tratamentos. As mudas

de alface foram adquiridas de um agricultor local, fornecidas em bandejas de isopor com 200 unidades. Adquiriu-se 3 bandejas, uma com cada cultivar. As mudas foram transplantadas em canteiro após 20 dias da sementeira, no dia 14/07/2015. Foram plantadas num espaçamento de 20 cm, entre os gotejadores da linha lateral de irrigação.

Na figura 1 é apresentado o esquema estrutural do experimento. Observa-se que um cavalete regula a entrada de água para três linhas laterais, que por sua vez irrigam três canteiros simultaneamente, contendo cada um, uma única cultivar de alface. A casualização se deu mediante sorteio, tanto com os potenciais de água no solo, como com as cultivares de alface.

Figura 1. Esquema do sistema de irrigação.



A salinidade presente no solo (de acordo com a análise físico-química) não ocasionou danos aos sensores e a alface não apresentou deficiências nutricionais. Foram distribuídos 1.000 kg de cama de frango uniformemente sobre os canteiros, 10 dias antes do transplante das mudas, para incorporação de matéria orgânica e fornecimento gradativo de nitrogênio à cultura.

O sistema de irrigação foi composto por linha lateral, linha secundária, linha principal, cavalete, conjunto motobomba, caixa de água de 1000 litros e painel de controle. As linhas laterais usadas foram fitas gotejadoras de vazão igual a 1,5 l/h por gotejador, num espaçamento de 20 cm entre

gotejadores. As linhas secundárias e principais foram de tubo PVC soldável de 50 mm. Os cavaletes foram compostos por válvulas solenoides da marca Rain Bird de 1" e hidrômetros com precisão de 0,0001 m³. Estes hidrômetros possibilitaram o controle da lâmina de irrigação em cada Tratamento, além de controlar o número de vezes que cada Tratamento era acionado diariamente. O conjunto motobomba utilizado foi de ½ CV (da marca WEG) e a caixa de água de polietileno a qual armazena 1 m³ de água.

A automação se deu mediante uso de Arduino UNO R3, relê's, sensor capacitivo de umidade do solo, módulo capacitância, fios, jumpers, transformadores e fonte de

energia. Com o objetivo de criar um protótipo controlador automatizado compacto, os componentes eletrônicos

foram instalados dentro de um quadro elétrico, possibilitando configurar uma unidade elétrica integrada. (Figura 2).

Figura 2. Esquema de ligação do sistema de irrigação automatizado.

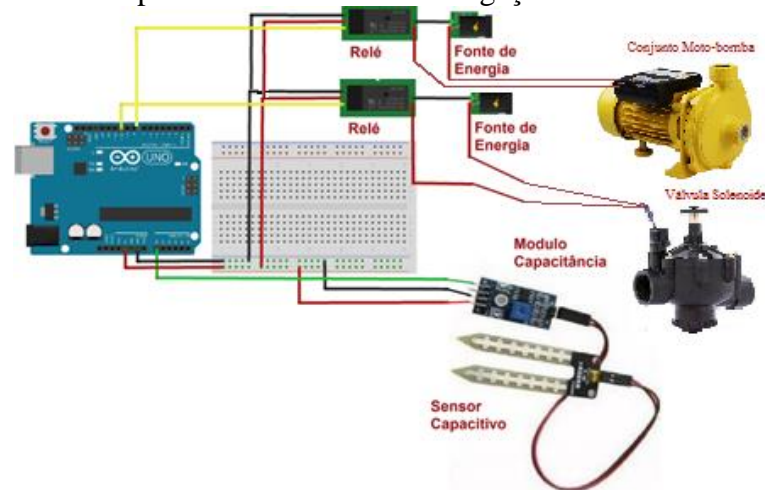


O funcionamento da automação se deu pela identificação da capacitância identificada no solo, devido a umidade que se encontrava no momento, caso o protótipo identificasse capacitância abaixo ou acima do programado aciona-se de imediato a abertura ou fechamento das válvulas solenóides e acionamento do conjunto motobomba. Sempre que o potencial de água no solo de um dos Tratamentos atingia o valor previamente estabelecido, a válvula do Tratamento em questão e o conjunto motobomba eram ativados simultaneamente por um período de 30 minutos.

Os componentes usados na automação, podem ser observados no esquema simplificado (Figura 3). Observa-se a Plataforma Arduino UNO R3 e os periféricos, conectados via cabos ou jumpers nas portas analógicas e digitais do Arduino. Optou-se pela utilização do Arduino modelo UNO R3 por possuir 6

portas analógicas, baixo custo de aquisição e tamanho compacto. Para o acionamento de um número maior de sensores de umidade, pode-se dispor do Arduino modelo AT Mega que tem 16 portas analógicas. Utilizou-se um relé para acionamento do conjunto motobomba e outros quatro para acionamento das válvulas solenóides. A fonte de energia da bomba foi de 220 Volts, enquanto que das válvulas foram de 12 Volts. Os relés foram ligados nas portas digitais do microcontrolador, enquanto os sensores de umidade foram ligados nas portas analógicas. Ao todo foram usados 12 sensores de umidade do solo, 3 para cada Tratamento de potencial de água no solo, conectados sem série. O sensor mais distante do painel de controle ficava a 30 metros. Por meio de fios de telefonia foi possível conectar o Arduino aos sensores de umidade sem que houvesse perdas de sinal.

Figura 3. Ligação dos componentes do sistema de irrigação automatizado.



Os sensores de umidade do solo, responsáveis pela leitura do potencial de água no solo, foram fixados a 10 cm de profundidade nos canteiros de cada Tratamento e conectados nas entradas analógicas da placa Arduino por meio de fiação telefônica de duas fases. A intensidade destes sinais analógicos determinava a abertura das válvulas e ligação da bomba. Foram utilizados 5 relés de 12V/220V para acionar as 4 válvulas e o conjunto motobomba. Como o sinal de acionamento dos relés deve ser digital, foi feita uma ligação, por meio de jumpers, na saída digital do Arduino até estes relés, permitindo o controle dos mesmos mediante sinais analógicos dos sensores de umidade para cada Tratamento.

O sketch (programa do Arduino) para execução da automação se deu mediante o uso do software Arduino IDE, disponível na página oficial da Arduino. Neste Software multiplataforma, instalado nesse caso no sistema operacional Windows, foi escrito o programa para ser transferido, via porta usb, para a placa Arduino. Para que o sistema automático operasse dentro de uma lógica funcional, foi criada uma programação e instalada no processador do Arduino. Essa programação se baseou na leitura analógica dos sensores de umidade de todos os Tratamentos, num período de 2 horas. A releitura era

reiniciada após este período, perfazendo 30 minutos em cada um dos 4 Tratamentos de potenciais de água no solo. Caso houvesse necessidade de irrigação em um dos Tratamentos, a válvula e a bomba eram acionadas por 30 minutos e desligada após este tempo. Instantaneamente a programação checava o sinal analógico do Tratamento em questão, tomando novamente a decisão de ligar ou permanecer desligada o sistema de irrigação neste Tratamento.

Ao longo de 1 dia, a releitura da programação era reiniciada 12 vezes. Havia a possibilidade de um Tratamento ser irrigado por 12 vezes durante 1 dia, num período de 30 minutos por irrigação. Isto ocorreu algumas vezes num dos Tratamentos com alto valor de potencial de água no solo.

Para a calibração do sensor capacitivo, procedeu-se com a construção de um modelo matemático envolvendo a umidade do solo (U) e a capacitância (C) do sensor (Equação 1). Para isso, fez-se a secagem em estufa a 105°C de 5 amostras de solo com mesmas massas, retiradas no local do experimento e adicionado diferentes volumes de água na proporção de 10, 20, 30, 40 e 50% de umidade, no sentido de determinar a capacitância do sensor em função da porcentagem da água de cada amostra. Construiu-se a equação baseada no

método de regressão não linear. Os intervalos de dados da capacitância variaram de 1023 a 300, para umidade do

solo entre 0 e 50%. O coeficiente de ajuste (R^2) observado da equação foi de 99%.

$$U = -0,00000041 \times C^3 + 0,0007686 \times C^2 - 0,49347360 \times C + 140,21U \quad (1)$$

Em que:

U = Umidade gravimétrica do solo (g.g^{-1}) e

C = Capacitância do sensor utilizado (F).

Associou-se os potenciais de água no solo por meio da curva de retenção de água do solo, tornando possível a programação no Arduino com base na

energia de retenção. A Equação 02 representa um modelo de Van Genuchten (1980) da curva de retenção de água no solo usado no experimento.

$$U = 0,3 + \frac{0,1}{[1+(0,35\psi)^2]^{0,5}} \quad (2)$$

Em que:

U = umidade gravimétrica do solo (g.g^{-1}) e

ψ = potencial matricial (kPa).

Na Tabela 1, encontram-se os valores da capacitância, umidade do solo e potencial de água no solo adotados nos 4 Tratamentos de irrigação do experimento. O solo utilizado apresenta alta capacidade de retenção de água, com umidade variando menos que 10% entre os Tratamentos de

maior e menor potencial. Essa mesma característica foi observada na curva de retenção de água no solo (Equação 02), com diferença entre as umidades de capacidade de campo e ponto de murcha permanente inferiores a 10%.

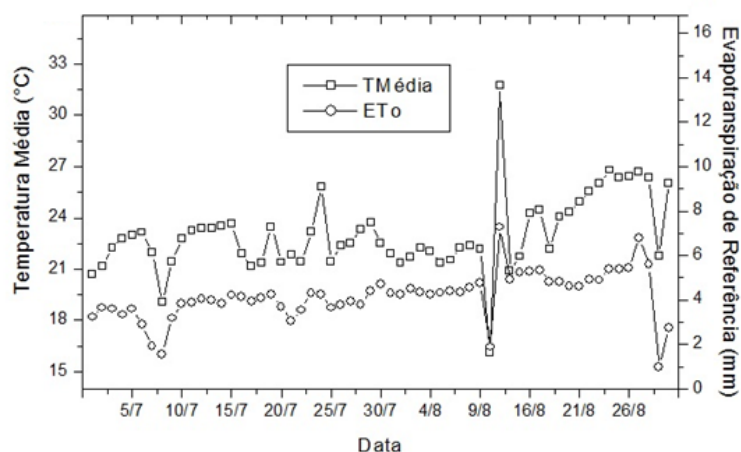
Tabela 1. Tratamentos de irrigação adotado no experimento.

Potenciais	Capacitância	Umidade (%)	Potencial (-kPa)
1	700	30,76	200
2	600	32,26	120
3	500	34,37	55
4	400	39,55	05

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma estação agrometeorológica automatizada instalada nas proximidades do experimento registrou os dados de

temperatura média e evapotranspiração de referência, conforme apresentado na Fig. 4. Sendo que não foram observadas precipitações no período experimental.

Figura 4. Dados de temperatura e evapotranspiração de referência.

A programação desenvolvida para o funcionamento da automação da irrigação pode ser observada abaixo. Foi necessário adicionar um conjunto de protocolos, disponível no banco de dados do Arduino, para o reconhecimento do relê. No void setup() foram declaradas as portas de entrada e de saída, foi também solicitada a exibição no monitor serial da capacitância e umidade do solo quando este fosse acionado. No void loop() foram estabelecidos os valores limites de capacitância para que houvesse o acionamento das portas digitais e definiu-se o tempo de acionamento destas portas - tempo de irrigação.

```
int portaRele1 = 3;
int portaUmidade1 = A1;
float C1 = 0;
float U1 = 0;
int portaRele2 = 5;
int portaUmidade2 = A2;
float C2 = 0;
float U2 = 0;
int portaRele3 = 6;
int portaUmidade3 = A3;
float C3 = 0;
float U3 = 0;
int portaRele4 = 9;
int portaUmidade4 = A4;
float C4 = 0;
float U4 = 0;
int portaReleBomba1 = 10;
```

```
int portaReleBomba2 = 10;
int portaReleBomba3 = 10;
int portaReleBomba4 = 10;
void setup()
{
  pinMode(portaRele1, OUTPUT);
  pinMode(portaUmidade1, INPUT);
  pinMode(portaRele2, OUTPUT);
  pinMode(portaUmidade2, INPUT);
  pinMode(portaRele3, OUTPUT);
  pinMode(portaUmidade3, INPUT);
  pinMode(portaRele4, OUTPUT);
  pinMode(portaUmidade4, INPUT);
  pinMode(portaReleBomba1, OUTPUT);
  pinMode(portaReleBomba2, OUTPUT);
  pinMode(portaReleBomba3, OUTPUT);
  pinMode(portaReleBomba4, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(" Lendo Umidade do
  Solo...");
  Serial.println(" ");
  delay(1000);
  C1 = analogRead(portaUmidade1);
  U1 = -0,00000041*C1*C1*C1 +
  0,00076860*C1*C1 - 0,49347360*C1 +
  140,21;
  Serial.print(U1);
  Serial.println("% H2O no Solo -
  Tratamento 1");
  Serial.print(C1);
  Serial.println(" Capacitancia do Sensor -
  Tratamento 1");
  Serial.println(" ");
  C2 = analogRead(portaUmidade2);
```



```

U2 = -0,00000041*C2*C2*C2 +
0,00076860*C2*C2 - 0,49347360*C2 +
140,21;
Serial.print(U2);
Serial.println("% H2O no Solo -
Tratamento 2");
Serial.print(C2);
Serial.println(" Capacitancia do Sensor -
Tratamento 2");
Serial.println(" ");
C3 = analogRead(portaUmidade3);
U3 = -0,00000041*C3*C3*C3 +
0,00076860*C3*C3 - 0,49347360*C3 +
140,21;
Serial.print(U3);
Serial.println("% H2O no Solo -
Tratamento 3");
Serial.print(C3);
Serial.println(" Capacitancia do Sensor -
Tratamento 3");
Serial.println(" ");
C4 = analogRead(portaUmidade4);
U4 = -0,00000041*C4*C4*C4 +
0,00076860*C4*C4 - 0,49347360*C4 +
140,21;
Serial.print(U4);
Serial.println("% H2O no Solo -
Tratamento 4");
Serial.print(C4);
Serial.println(" Capacitancia do Sensor -
Tratamento 4");
Serial.println(" ");
digitalWrite(portaRele1, HIGH);
digitalWrite(portaRele2, HIGH);
digitalWrite(portaRele3, HIGH);
digitalWrite(portaRele4, HIGH);
delay(1000);
}
void loop()
{
int estado1 = analogRead(portaUmidade1);
if (estado1 > 700)
{
digitalWrite(portaReleBomba1, LOW);
}
else
digitalWrite(portaReleBomba1, HIGH);
if (estado1 > 700)
{
digitalWrite(portaRele1, LOW);
}
else
digitalWrite(portaRele1, HIGH);
delay(1800000);
digitalWrite(portaReleBomba1, HIGH);
digitalWrite(portaRele1, HIGH);
delay(5000);
{
int estado2 = analogRead(portaUmidade2);
if (estado2 > 600)
{
digitalWrite(portaReleBomba2, LOW);
}
else
digitalWrite(portaReleBomba2, HIGH);
if (estado2 > 600)
{
digitalWrite(portaRele2, LOW);
}
else
digitalWrite(portaRele2, HIGH);
delay(1800000);
digitalWrite(portaReleBomba2, HIGH);
digitalWrite(portaRele2, HIGH);
delay(5000);
{
int estado3 = analogRead(portaUmidade3);
if (estado3 > 500)
{
digitalWrite(portaReleBomba3, LOW);
}
else
digitalWrite(portaReleBomba3, HIGH);
if (estado3 > 500)
{
digitalWrite(portaRele3, LOW);
}
else
digitalWrite(portaRele3, HIGH);
delay(1800000);
digitalWrite(portaReleBomba3, HIGH);
digitalWrite(portaRele3, HIGH);
delay(5000);
{
int estado4 = analogRead(portaUmidade4);
if (estado4 > 400)

```

```

{
digitalWrite(portaReleBomba4, LOW);
}
else
digitalWrite(portaReleBomba4, HIGH);
if (estado4 > 400)
{
digitalWrite(portaRele4, LOW);
}
else
digitalWrite(portaRele4, HIGH);
delay(1800000);
digitalWrite(portaReleBomba4, HIGH);
digitalWrite(portaRele4, HIGH);
delay(5000);
}}}}

```

A automação proposta permitiu controlar o sistema de irrigação e o manejo de água em função do potencial de água no solo. As irrigações ocorreram de forma automática e individual em cada Tratamento. Eram acionadas quando a capacitância do potencial de água no solo adotada atingia o valor estabelecido no Tratamento. Na Tabela 2 observa-se o número de irrigações totais, volumes aplicados e lâmina irrigada entre os dias 28/07/2015 e 28/08/2015. Cada irrigação tinha uma duração de 30 minutos, aplicando um volume de 142 litros de água por Tratamento.

Pela Tabela 2, observa-se que em média o Tratamento 1 recebeu menos

irrigações que os demais. Devido ao baixo potencial de irrigação, após uma irrigação o solo permanecia abaixo da capacitância por mais tempo. O Tratamento 4 recebeu em média, aproximadamente, 7 irrigações diárias, dentre as 12 possíveis ao longo de 1 dia. Como a releitura da programação tinha um período de 2 horas, o Tratamento 4, de alto potencial de água no solo, atingia novamente o potencial de irrigação neste período. Não houve um padrão de dias e horários nos quais as irrigações ocorriam, pois, o clima, a temperatura e a evapotranspiração da cultura influenciavam consideravelmente na retenção de água no solo e conseqüentemente na variação da capacitância. Foi registrado que em 6 dias do período experimental, o Tratamento 4 recebeu 12 irrigações diárias, dentre as 12 possíveis.

Observou-se grande variação nas lâminas totais irrigadas entre os Tratamentos com base no potencial de água no solo (Tabela 2), isso para verificar a eficiência da automação no controle da irrigação. Um controle eficiente no uso da água pode ser perfeitamente estabelecido com base no monitoramento do solo, bastando dispor de informações acerca do potencial que garanta uma alta produtividade aliada a economia de água.

Tabela 2. Irrigações no período experimental.

Tratamentos	Nº de irrigações Totais	Nº de irrigações Diárias Médias	Volumes Totais (L)	Lâminas Totais (mm)
1	18	0,6	2506	84
2	53	1,8	7431	248
3	113	3,8	16071	536
4	197	6,6	27926	931

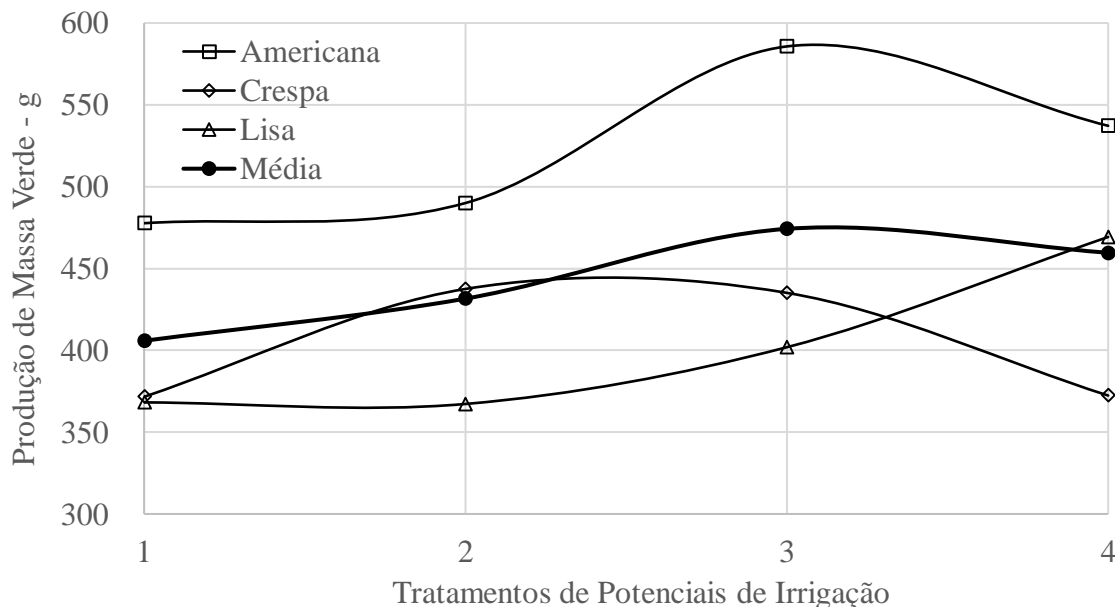
Na Figura 05, observa-se a curva de produção média de massa verde das três cultivares de alface em função dos potenciais de irrigação. A alface Americana foi a que apresentou maior produção em todos os potenciais. Esta cultivar teve a

máxima produção no Tratamento 3, de potencial igual a -55 kPa. A alface Crespa, apresentou aumento da produção em função do aumento do potencial nos Tratamentos. A alface Lisa teve a máxima produção no potencial 2, de -120 kPa. Em média das três

cultivares, a maior produção se deu no Tratamento 3 e a menor produção no Tratamento 1. O Tratamento 4 foi o que

recebeu maior lâmina de irrigação, porem este volume excessivo de água não contribuiu para a máxima produção média.

Figura 5. Produção de massa verde em função dos potenciais de irrigação.



Na Tabela 3 é apresentada a análise de variância, efetuada através do software Assistat, da produção de massa verde pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Pela análise, observa-se em letra maiúscula a variação entre cultivares e em letra minúscula a variação entre os potenciais. A alface Americana foi a única que diferiu estatisticamente das demais considerando a média geral. Em média, a produção não diferiu estatisticamente entre os Tratamentos de potenciais 2, 3 e 4,

demonstrando assim, que o excesso de água não ocasiona aumento significativo na produtividade da alface. Pela Tabela 2, verifica-se que a diferença do volume de água aplicado nos Tratamentos 2 e 4 foi de aproximadamente 20.500 litros, uma diferença de 275% para um acréscimo de apenas 5% na produtividade. Isso sugere que um manejo eficiente da irrigação pode ser obtido estabelecendo um potencial de água no solo condizente com a real necessidade da cultura.

Tabela 3. Análise de variância da produção de massa verde.

Variedade das Alfices	TRATAMENTOS DE POTENCIAIS DE IRRIGAÇÃO				Média dos Potenciais
	T1	T2	T3	T4	
Americana	478 bA	490 bA	586 aA	537 abA	553 A
Crespa	372 bB	438 aAB	435 aB	372 bC	404 B
Lisa	368 bB	367 bB	402 bB	469 aB	407 B
Média das Variedades	406 b	438 ab	474 a	460 a	

Média geral da produção – 444,44 g

Coefficiente de variação – 7,04%

Diferença mínima significativa entre os potenciais (letras minúsculas) – 59,91 g

Diferença mínima significativa entre as alfices (letras maiúsculas) – 56,17 g

Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

6 CONCLUSÃO

O protótipo demonstrou excelente eficácia e eficiência, dispensando após sua instalação a necessidade de interferência humana no manejo da irrigação.

O protótipo interpretou os comandos programados nos quesitos: identificação de potenciais, umidade gravimétrica, capacitância e ativação do conjunto motobomba com perfeição.

As irrigações realizadas pela automação ficaram dentro do esperado para um manejo com base nos potenciais do solo para irrigação, com maiores frequências de irrigação nos Tratamentos de maior potencial, possibilitando economia de água no manejo da irrigação para potenciais de água no solo condizentes com a cultura e com o tipo de solo.

No desenvolvimento da automação, não se verificou dificuldade na montagem

ou na programação. Também não se verificou falhas ou danos no Arduino e nem nos componentes eletrônicos.

Ficou evidente o potencial de comercialização deste produto de baixo custo para automação da irrigação e do manejo com base no potencial de água no solo, mostrando-se altamente promissor, em detrimento dos equipamentos atuais para manejo de irrigações, que se encontram em alta faixa de preço, o que inviabiliza pequenos produtores de adquiri-los.

O Arduino mostra-se capaz de ser controlado remotamente com simplicidade, através do uso de redes de telefonia móvel que possibilitam a conexão com uma interface WEB para, por exemplo, controlar e monitorar sistemas de irrigação - as possibilidades de automação com o uso do Arduino são inúmeras.

7 REFERÊNCIAS

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.12, p.1257–1266, Campina Grande, PB. 2010.

BANZI, M. **Primeiros passos com o Arduino**. São Paulo: Novatec, 2011.

BATISTA, M. A. V.; VIEIRA, L.A.V.; JOACI PEREIRA DE SOUZA *; JOSÉ DIJALMA BATISTA DE FREITAS; FRANCISCO BEZERRA NETO. Efeito de diferentes fontes de adubação sobre a produção de alface no município de Iguatu-CE. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 3, p. 8-11, 2012.

BAYER, A; MAHBUB, I.; CHAPPELL, M.; RUTER, J.; IERSEL, M. Water Use and Growth of Hibiscus acetosella ‘Panama Red’ Grown with a Soil Moisture Sensor-controlled Irrigation System. **HortScience**, vol. 48, 980-987, 2013.

DESHMUKH, A. V. **Microcontrollers – Theory And Applications**, 2011.

GRAH, V. F. et al. Solução alternativa para bombeamento de água e automação da irrigação sem o uso de energia elétrica. **Irriga**, Botucatu, p.309-323, 2012.

GOMES, E.P; AVILA, M.R.; RICKLI, M.E.; PETRI, F.; FEDRI, G. Desenvolvimento e produtividade do girassol sob lâminas de irrigação em semeadura direta na região do Arenito Caiua, Estado do Paraná. **Irriga**, Botucatu, v.15, n.4, p.373-385, 2010.

LIN, K. H.; HUANG, M. Y.; HUANG, W. D.; HSU, W. D.; YANG, Z. W.; YANG, C. M. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). **Scientia Horticulturae**, v.150, p. 86–91, 2013.

MANTOVANI, E.C.; MONTES, D. R. P.; VIEIRA, G. H. S.; RAMOS, M. M. SOARES, A. A. Estimated production of bean crop irrigated in Cristalina-GO under different depths and uniformity of application. **Engenharia Agrícola**. Vol 32, n.1, p 110-120, 2012.

MARGOLIS, M. **Arduino Cookbook**. Sebastopol, CA, USA: O’RilleyMedia, 2011, p1.

SANTOS, Lauana Lopes dos; LACERDA, Julian Junio Jesus and ZINN, Yuri Lopes. Partição de substâncias húmicas em solos brasileiros. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2013, vol.37, n.4, pp.955-968. ISSN 1806-9657. Disponível em : <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400013>>

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 44, p.892-8, 1980.