



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

KALEV GUIMARÃES DE OLIVEIRA FERREIRA MARINHO

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE
IRRIGAÇÃO DE AGRICULTURA FAMILIAR COM ATMEGA**

Recife

2019

Kalev Guimarães de Oliveira Ferreira Marinho

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE
IRRIGAÇÃO DE AGRICULTURA FAMILIAR COM ATMEGA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao departamento de Engenharia
Mecânica da UFPE como requisito básico para
obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Justo Emilio Alvarez Jácomo

Recife

2019

Catálogo na fonte

Bibliotecário Gabriel da Luz, CRB-4 / 2222

M338d Marinho, Kalev Guimarães de Oliveira Ferreira.
Desenvolvimento de sistema de monitoramento e controle de irrigação de agricultura familiar com ATMEGA / Kalev Guimarães de Oliveira Ferreira Marinho – Recife, 2019.
65f., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Justo Emilio Alvarez Jácomo.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Graduação em Engenharia Mecânica, 2019.
Inclui Referências.

1. Engenharia Mecânica. 2. Irrigação inteligente. 3. Arduino. 4. Regressão linear múltipla. I. Jácomo, Justo Emilio Alvarez (Orientador). II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.) BCTG/2019 - 270



**ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC2**

Ao quinto dia do mês de julho do ano de dois mil e dezenove, às 13h, no auditório do PPGEM, no prédio anexo do DEMEC, reuniu-se a banca examinadora para a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, intitulado: **Desenvolvimento de Sistema de Monitoramento e Controle de Irrigação de Agricultura Familiar com Arduino**, elaborado pelo aluno **Kalev Guimarães de Oliveira Ferreira M.**, matrícula 112.512.944-13, composta pelos professores **Justo E. Alvarez-Jácobo** (Orientador), **João Marcelo Xavier N. Teixeira**; (membro titular) e **Jacinaldo B. de Medeiros Júnior** (membro titular). Após a exposição oral, o candidato foi arguido pelos componentes da banca que em seguida reuniram-se reservadamente e deliberaram pela aprovação do candidato, atribuindo-lhe a média 8,5 (oito e cinco), julgando-o apto à conclusão do curso de Engenharia Mecânica. Para constar, redigi a presente ata aprovada por todos os presentes, que vai assinada por mim e pelos demais membros da banca.

Prof.(a) Orientador(a): Prof. **Justo Emílio Alvarez-Jácobo** Nota: 9,0

Assinatura _____

Prof.(a)Membro: Prof. **João Marcelo Xavier Natário Teixeira** Nota: 8,5

Assinatura _____

Prof.(a)/Membro: Prof. **Jacinaldo Balbino de Medeiros Júnior** Nota: 8,0

Assinatura _____

Recife, 05 de julho de 2019

Prof. José Maria Barbosa
Coordenador de Trabalho de Conclusão de Curso -TCC
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica – CTG/EEP-UFPE

Aos meus pais que me deram suporte e a Deus, que me deu a verdadeira vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, pois é o protagonista de todas as minhas conquistas. Sou grato também aos meus pais, por todo amor, apoio e ensinamento, o que me conduziu a quem sou hoje. Meus avós possuem minha eterna gratidão, pois nunca mediram esforços ao me auxiliarem em todas as minhas vitórias. Agradeço aos meus amigos João Victor, Matheus Leite e Victor Nadjim, que fizeram parte da minha caminhada, nos momentos bons e nos mais difíceis também. Agradeço a Amanda Veiga por sempre ser companhia e cais.

Gostaria de agradecer também ao professor Justo Emilio Alvarez Jácomo por sua orientação, apoio e disponibilidade para me guiar ao longo deste trabalho.

RESUMO

A evolução da prática agrícola causada pela aplicação de inovações tecnológicas pode ser notoriamente observada nas diversas escalas do setor. Melhorias na qualidade da cultura produzida, na produtividade dos processos e controle dos fatores necessários ao desenvolvimento ideal da planta alavancaram a eficiência da agronomia. Num contraste a esse crescimento, no Brasil, esse setor, que assume primeiro lugar no consumo de água, apresenta índices significativamente elevados de desperdício do recurso hídrico. Quando se trata do contexto de regiões assoladas pela seca, a agricultura familiar, fortemente praticada no semiárido brasileiro, percebe um impacto ainda maior do uso ineficiente da água, pois além das limitações de disponibilidade, a maioria dos casos apresenta recursos limitados para a captação e uso, o que implica diretamente no seu aspecto econômico. Lidar devidamente com o recurso hídrico num cenário como esse é vital, tanto no viés econômico quanto ambiental. Diante da contradição entre desenvolvimento e desperdício apresentada na agricultura, soluções a partir do uso de tecnologia se mostram viáveis e práticas para essa problemática. O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle de irrigação para a agricultura familiar, buscando promover um uso mais inteligente da água, reduzindo desperdícios, custos e diminuindo a necessidade de mão de obra. Para isso foi criado, com auxílio da plataforma Arduino, sensores e atuadores, um dispositivo que analisa o comportamento do cultivador, ao irrigar, diante dos seguintes fatores: temperatura do ar, temperatura do solo, umidade do ar, umidade do solo e luminosidade do ambiente. Toma-se como premissa que irrigação é realizada por um cultivador que utilize a quantidade adequada de água para a planta. A partir da coleta de dados, é realizada uma regressão linear múltipla para deduzir a influência de cada um desses parâmetros sobre a quantidade de água utilizada na irrigação, permitindo, assim, estimar o volume hídrico que deve ser usado no processo em diferentes condições ambiente, expressas na forma de diferentes combinações dessas variáveis, e controlar a irrigação automaticamente. A validade do modelo foi analisada pela verificação de sua capacidade de interpretação dos dados e de estimar adequadamente a variável de saída associada às entradas.

Palavras-chave: Irrigação inteligente. Arduino. Regressão linear múltipla.

ABSTRACT

The evolution of the agricultural practice caused by the application of technological innovations can be well-known in the diverse scales of the sector. Improvements in the quality of the crop produced, in the productivity of the processes and control of the factors necessary for the ideal development of the plant have leveraged the efficiency of agronomy. In contrast to this growth, in Brazil, this sector, which takes first place in water consumption, presents significantly high rates of wastage of the hydric resource. When it comes to the context of drought-stricken regions, family farming, which is strongly practiced in the Brazilian semi-arid region, has an even greater impact on inefficient water use, since in addition to the limitations of availability, in most cases it has limited resources to capture and use, which implies directly in its economic aspect. Dealing properly with the water resource in such a scenario is vital, both in the economic and environmental bias. Faced with the contradiction between development and waste presented in agriculture, solutions based on the use of technology have been proven as viable and practical for this problem. The objective of this work is the development of an irrigation monitoring and control system for family agriculture, seeking to promote a more intelligent use of water, reducing waste, costs and the need for labor. For this purpose, a device that analyzes the irrigation behavior was created using the Arduino platform, sensors and actuators, considering the following factors: air temperature, soil temperature, air humidity, soil moisture and ambient light. It is assumed that irrigation is performed by a cultivator who uses the adequate amount of water for the plant. From the data collection, a multiple linear regression is performed to deduce the influence of each of these parameters on the amount of water used in the irrigation, allowing, therefore, to estimate the water volume that should be used in the process in different ambient conditions, expressed in the form of different combinations of these variables. The validity of the model was analyzed by checking its ability to interpret the data and properly estimate the output variable associated with the inputs.

Keywords: Smart irrigation. Arduino. Multiple linear regression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico do erro de regressão linear simples	24
Figura 2 - Placa de Arduino Uno.....	32
Figura 3 - Fluxograma do sistema	40
Figura 4 - Placa de Arduino Mega	42
Figura 5 - Higrômetro	43
Figura 6 - Sensor de Luminosidade	43
Figura 7 - Sensor de Umidade e Temperatura DHT22	42
Figura 8 - Sensor de Temperatura DS18B20	44
Figura 9 - Sensor de vazão de água	45
Figura 10 - Válvula Solenoide	45
Figura 11 - Módulo Relé	46
Figura 12 - Módulo LCD	46
Figura 13 - Módulo I2C	47
Figura 14 - Módulo I2C conectado ao módulo LCD	47
Figura 15 - Módulo Bluetooth HC-05	47
Figura 16 - Vista lateral esquerda do dispositivo montado	48
Figura 17 - Vista lateral direita do dispositivo montado	48
Figura 18 - Diagrama de componentes e conexões do dispositivo	51
Figura 19 - Arquitetura de Hardware do Sistema	52
Figura 20 - Relação entre volume de água e umidade do ar	54
Figura 21 - Relação entre volume de água e temperatura do solo	55
Figura 22 - Relação entre volume de água e luminosidade	55
Figura 23 - Relação entre volume de água e temperatura do ar	56
Figura 24 - Relação entre volume de água e umidade do solo	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Experimentos – temperatura e solo.....	17
Tabela 2 - Matriz de Resultados	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVO GERAL.....	14
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	14
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO SOLO	16
2.2	INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO SOLO.....	17
2.3	INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA AMBIENTE.....	18
2.4	INFLUÊNCIA DA LUMINOSIDADE.....	19
2.5	INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO AMBIENTE.....	20
2.6	REGRESSÃO LINEAR.....	21
2.6.1	Regressão linear simples	22
2.6.2	Regressão linear múltipla	25
2.7	INTERNET DAS COISAS.....	27
2.7.1	IoT na agricultura	28
2.8	AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	30
2.9	PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO.....	31
3	ESTADO DA ARTE	33
4	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1	FUNÇÃO.....	38
4.2	OPERAÇÃO.....	41
4.2.1	A correlação	41
4.2.2	A replicação	42
4.3	COMPONENTES.....	42
4.4	DESCRIÇÃO DO DISPOSITIVO	48
4.4.1	Modo de uso	48
4.4.2	Detalhes	50
4.5	RESULTADOS.....	53
4.6	DIFICULDADES E LIÇÕES APRENDIDAS	57
4.6.1	Lições aprendidas	57
4.6.2	Dificuldades	57

5	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas ao campo da agricultura seguiu um ritmo acelerado nos últimos anos. A melhoria contínua na mecanização agrícola e em sistemas automáticos de controle nesse âmbito contribuíram de maneira representativa para o aumento da capacidade produtiva no setor alimentício, elevação da eficiência dos processos e redução dos custos envolvidos. Tais aplicações das inovações em processos de irrigação, colheita, nutrição do solo e monitoramento têm remodelado a formatação atual da prática agrícola. (E. SEIDLER, F. FRITZ, 2016).

Segundo a agência de notícias do IBGE numa pesquisa realizada em 2015, a agricultura se encontra na primeira posição quando se trata de consumo dos recursos hídricos do país (IBGE, 2018). De acordo com estimativas do Fundo das nações unidas para agricultura e alimentação feitas em 2012, apesar de ser o setor que mais consome, aproximadamente metade do volume de água recebido para suas atividades é desperdiçado (ANA, 2012).

Com uma simples análise de dados fornecidos pelos principais institutos estatísticos do país, o contraste entre o desenvolvimento do setor e o desperdício associado a ele torna-se notório. A proporção dessa contradição é significativamente ampliada pelo fato de que o setor corresponde a uma das atividades econômicas mais predominantes no Brasil, conhecido por sua atuação forte no mercado externo e interno de commodities.

Na necessidade de se adotar medidas de otimização do uso dos recursos, visando minimizar o impacto ambiental e alcançar graus mais elevados de sustentabilidade, a contribuição da tecnologia é essencial nas escalas macro e micro do setor. Essa necessidade é enfatizada ao perceber também a desigualdade da distribuição hídrica ao longo do território brasileiro, onde regiões que dependem de produtos primários para sobrevivência e geração de renda sofrem com o fenômeno da seca, como pode ser observado no semiárido do país.

Dentre os processos agrícolas que lidam com o uso da água, a irrigação apresenta-se como protagonista. Para essa etapa especificamente, um controle refinado da quantidade de água utilizada no processo mostra-se como um ponto promissor para a atuação das inovações que vêm surgindo na agricultura. Quando

combinado com tecnologias de automatização, esse controle opera de maneira a melhorar o processo de rega, que além de garantir a precisão requerida para a economia e para o meio ambiente, implica também na diminuição da dependência humana na execução.

A elaboração de um sistema de controle de irrigação que possibilite um uso mais eficiente da água, ainda mantendo uma rega efetiva, encontra como obstáculo as mudanças nas condições entre cada ambiente diferente, assim como mudanças no tipo de cultura da plantação. Dentre os parâmetros que influenciam a quantidade de água necessária para cada situação específica, as particularidades geográficas, características das espécies plantadas e as propriedades do solo de cultivo são exemplos que mostram o quão relativo é o sistema de irrigação ideal para cada caso. Visto isso, a aplicação de um método de controle com funcionamento fixo para diferentes plantações é inadequada, considerando a deficiência em responder, de maneira particular, às condições específicas de cada meio. Mesmo contornando o problema da relatividade nas condições de cada ambiente, ainda devem ser consideradas as mudanças dessas condições com o tempo, em que alterações climáticas periódicas, ou até transições à longo prazo das condições do solo representariam uma diferente necessidade na irrigação, que não seria adequadamente suprida por um sistema estático, ou seja, que não se adapte.

Diante da problemática da atuação de um método de controle que atenda às necessidades específicas de aguçagem de cada plantação, uma solução viável consistiria no desenvolvimento de um sistema adaptável.

A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle de irrigação para agricultura familiar que possa gerir a quantidade de água utilizada na rega, sendo capaz de se adaptar às condições particulares de cada plantação e às mudanças a qual estará submetido através do monitoramento e avaliação de fatores como:

- a) Temperatura do ar;
- b) Temperatura do solo;
- c) Umidade do ar;
- d) Umidade do solo;
- e) Luminosidade.

Assim, o sistema deve responder à combinação desses fatores (condições do ambiente), determinando a quantidade de água que deve ser usada no processo de irrigação para cada situação. A operação se dará pelo aprendizado com a prática do cultivador. Os sinais de entrada (leituras dos sensores) serão comparados com a quantidade de água utilizada pelo irrigador para que, após a compilação de vários ciclos de irrigação, o sistema possa entender como o processo é feito e então poder replicá-lo para diferentes condições ambientes. A partir da compilação de uma base de dados de entrada e saída, o algoritmo desenvolvido executará uma regressão linear para correlacionar as variáveis de entrada à saída.

O desenvolvimento do sistema será feito com o uso da plataforma Arduino, um hardware *open source* de prototipagem eletrônica. A plataforma possui um microcontrolador que permite, com a criação do devido algoritmo, calcular as respostas (saídas) que serão dadas diante das entradas obtidas. A grande conectividade do Arduino e liberdade do hardware o tornam ideal para o projeto, dada a imensa variedade de sensores e atuadores disponíveis no mercado que são compatíveis com ele.

1.1 JUSTIFICATIVA

Diante da necessidade de redução de desperdício de água no meio agrícola, o uso de soluções inteligentes que vêm protagonizando o cenário inovativo, representa um bom caminho para a melhoria na utilização do recurso hídrico. Soluções atuais pautadas na aplicação de tecnologia de ponta tem se mostrado efetivas por um lado, mas por outro, inacessíveis para uma parte da população cuja relação com a agricultura tem o caráter familiar. Assim, optou-se pelo uso da plataforma Arduino devido à simplicidade de uso e baixo custo de implementação, compatível com o nicho em que se busca solucionar o problema.

Visto a limitação na capacidade de mão de obra no contexto de agricultura familiar, a atuação de um sistema capaz de performar uma tarefa autonomamente representa também ganhos em precisão e produtividade.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolvimento de um sistema de controle e monitoramento de irrigação para a agricultura familiar com capacidade de se adaptar às diversas condições do ambiente e tipos de plantio, visando reduzir o manejo humano operacional, desperdício de água e diminuir custos.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinação de quais são os fatores ambientais que devem ser considerados para definir a quantidade de água a ser utilizada na irrigação;
- b) Determinação de uma função de correlação entre os diversos fatores ambientais monitorados e a quantidade de água necessária para o melhor crescimento do plantio;
- c) Desenvolvimento de programa capaz de realizar o controle e análise dos parâmetros;
- d) Prototipagem de um sistema de monitoramento e controle.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi desenvolvido em 4 capítulos ao longo deste documento.

No primeiro capítulo é apresentado o tema abordado pelo projeto, assim como a justificativa para a execução e os objetivos que possui.

No segundo, a fundamentação teórica analisa, inicialmente, a influência dos fatores ambientais na irrigação, em seguida apresenta o conceito de Internet das Coisas, seu contexto atual e aplicações, também tratando da plataforma que será utilizada neste trabalho.

O terceiro capítulo trata do estado da arte do tema abordado, trazendo uma noção geral de tecnologias utilizadas e estudos de casos práticos sobre projetos desenvolvidos.

Por fim, em Materiais e Métodos, o quarto capítulo, é apresentado o desenvolvimento propriamente dito do trabalho, expondo os componentes envolvidos, ferramentas, modelos matemáticos utilizados e o funcionamento do sistema proposto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para tratar do desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle agrícola que se adapte ao ambiente, é necessário compreender a importância dos fatores ambientais na irrigação, entender a dinâmica atual do uso das ferramentas proporcionadas pela Internet das Coisas (que tornam o sistema possível de ser criado) e conhecer as características da plataforma que será utilizada no trabalho. Analisando, posteriormente o estado da arte da aplicação de sistemas inteligentes às plantações.

2.1 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO SOLO

Fatores como a radiação solar incidente, absorvidade e refletividade da superfície do chão influenciam diretamente na temperatura do solo. Além disso, as próprias características térmicas particulares desse solo referentes à transmissão do calor, como condutividade térmica, calor específico e difusividade térmica determinam o comportamento térmico do terreno local.

A importância da temperatura do solo nas plantações é grande desde o plantio da semente até depois de emergir da superfície, pois situações térmicas mais extremas implicam em danos nos tecidos das raízes, prejudicando a entrada de água e nutrientes na região radicular, e em dimensões macro, isso culmina em problemas de crescimento e redução na capacidade produtiva das plantações (COELHO, M.E.H. et al., 2013).

A irrigação é um dos fatores mais influentes na temperatura do solo. Isso porque a água presente nele absorve parte da energia da radiação proveniente do sol (calor), assim, evaporando. Por ser um processo endotérmico, com absorção de calor, esse fenômeno acaba retirando calor do meio ao redor, causando a redução de temperatura do solo, segundo CHECHETTO, R.G. et al. (2010). Além do fator evaporação, a água altera propriedades térmicas da mistura do solo, como condutividade de calor e capacidade de absorção de energia térmica.

Tabela 1 - Experimentos - Temperatura e solo

Tratamentos	Temperatura (°C)		Umidade relativa do ar (%)
	Ar	Superfície do solo	
irrigação Solo descoberto sem	33,5	43,5	45
irrigação Solo coberto sem	34	41,5	45
Solo coberto irrigado	34	38	45
Solo descoberto irrigado	33,5	34	45

Fonte: CHECHETTO (2010)

Como pode ser visto na Tabela 1 acima no experimento conduzido com análise da temperatura do solo sob diferentes condições, a irrigação é responsável pela maior diminuição na temperatura (RIBAS, G. G. et al., 2015). Assim, a temperatura do solo se mostra como um parâmetro relevante para determinar as condições ideais de irrigação que proporcionem o desenvolvimento adequado das culturas agrícolas.

2.2 INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO SOLO

Segundo Lacerda, C. F. (2007), a fitomassa tem sua maior parte formada por água. Até organelas como cloroplastos e mitocôndrias vegetais, que possuem elevadas quantidades de proteínas e lipídios, apresentam cerca de 50% do líquido em sua composição. Folhas novas possuem um percentual acima de 80%, as raízes da planta, de 70 a 95%. Enquanto o corpo animal necessita da substância para sua formação e manutenção, nos vegetais essa importância é ainda maior.

Segundo Ferreira, A.S. et al (2014), para o cultivo da planta, a umidade do solo é uma das variáveis mais significativas. A baixa disponibilidade de água afeta a qualidade de vida da planta, podendo levar à condição de murchamento, enquanto o seu extremo oposto, o encharcamento, causa o preenchimento dos poros da planta. Mas a importância desse parâmetro não é notável apenas em extremos. Estados intermediários desse fator também influenciam representativamente o desenvolvimento do vegetal e deve ser devidamente abordado para garantir um crescimento adequado da plantação.

O conteúdo de água nas plantas está diretamente relacionado ao seu nível de atividade metabólica, em que plantas com elevado metabolismo exigem níveis de hidratação superiores (Lacerda, C. F., 2007). Essa quantidade de água tão necessária que é utilizada pelas plantas provém do sistema solo-planta-atmosfera. Em termos de longo prazo, o solo e a atmosfera são os principais provedores de água para a planta. Em que o solo, por ter contato direto com o sistema radicular, é a principal fonte da substância mais vital para o corpo vegetal. O volume hídrico no solo, além de alterar suas propriedades, dita a disponibilidade de água a ser absorvida pela planta, o que, por sua vez, está ligado ao seu desenvolvimento. A determinação do teor do líquido na terra também é fundamental para determinar início e fim de processos automatizados de irrigação (BUSKE, T.C. et al., 2014).

Além de estar diretamente relacionada às necessidades do vegetal, a umidade do solo influencia fortemente na porosidade e susceptibilidade do mesmo à compactação, o que implica em condições distintas de arejamento da terra, mudanças na capacidade de retenção de água, diferentes necessidades morfológicas das raízes das plantas e outros fatores acerca do próprio solo (TEIXEIRA et. al., 2009). Além disso, demanda de reposição hídrica varia para cada tipo de solo de acordo com suas características específicas, pois para diferentes profundidades, taxas de evaporação e composições químicas, tem-se comportamentos distintos e, conseqüentemente, exigem tratamentos e irrigação distintos. Dessa maneira, a umidade do solo exige um monitoramento adequado, geralmente feito por tensiômetros e sensores eletrométricos (FERREIRA et. al., 2014).

2.3 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA AMBIENTE

A tamanha relevância do fator temperatura no desenvolvimento vegetal pode ser facilmente percebida na análise de sua atividade fisiológica. As reações que ocorrem no metabolismo da planta respondem diretamente a essa influência, principalmente por se tratar de um ser sésil cuja composição em água é majoritária (MOLLO, 2009).

Com a elevação da temperatura, a movimentação das moléculas é intensificada e a força de suas conexões, enfraquecidas, o que torna menos viscosa a cama de lipídios nas membranas celulares. Por outro lado, a redução da temperatura promove

uma diminuição na velocidade das reações metabólicas da planta e aumenta a rigidez das biomembranas, demandando maior quantidade de energia para realizar suas reações (MOLLO, 2009). Nessas condições, a permeabilidade da membrana é afetada, diminuindo sua seletividade e tornando suas enzimas menos ativas (MOLLO, 2009).

Em termos mais macro, também se percebe que a temperatura do ambiente tem uma importância grande para o crescimento do vegetal. Alguns graus a mais ou a menos já implicam em diferentes taxas de crescimento (MOLLO, 2009). Cada espécie apresenta comportamento próprio diante desse fator, cada uma com suas temperaturas mínima, ótima e máxima. Perez et al. (2001) viu que a diminuição de 25°C para 12°C inibia o crescimento das *Festuca arundinacea*. Clarkson et al. (1986) verificou que as raízes das plantas *Lolium* tinham sua quantidade reduzida quando eram submetidas a temperaturas abaixo de 25°C, e quando estavam em temperaturas acima de 25°C, tinham mais raízes, aumentando a absorção de nutrientes e apresentando um crescimento mais elevado.

Não só a temperatura em si, mas a sua oscilação ao longo de períodos também influencia o comportamento vegetal. Coutinho & Schrage (1970) salientaram que a queda de temperatura entre o dia e a noite experimentada pelas espécies de Bromeliaceae favorece a assimilação de CO₂ durante a noite, o que justifica a quantidade de plantas dessa espécie nos locais de clima mais frio e úmido do Brasil ou no semi-árido de noites frias (MOLLO, 2009).

2.4 INFLUÊNCIA DA LUMINOSIDADE

Estando diretamente ligada ao desenvolvimento da planta, a luz atua como um dos principais elementos de entrada no processo de produção de energia vegetal: a fotossíntese (LIMA et al., 2008). As plantas possuem a capacidade de alterar o seu crescimento de acordo com as condições de luminosidade do ambiente (Holt, 1995), mas essa resposta varia significativamente entre espécies, dependendo de sua necessidade luminosa (Clough et al. 1980). Assim, a habilidade de uma planta de se adaptar aos diferentes aspectos de luz influencia no seu crescimento. Isso implica em remodelagem morfológica e do seu comportamento metabólico (LIMA et al., 2008). Como a luz influencia nas condições de operação do metabolismo, está relacionada,

então, com a demanda de água por parte da planta. Além disso, a quantidade de luz implica no aumento da temperatura da planta em si por conta da absorção da radiação emitida, o que, mais uma vez, traz alterações no desenvolvimento vegetal.

No Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA), em 2004, foi realizado um estudo sobre o comportamento de sementes da *Caesalpinia ferrea*. Os dados foram gerados a partir de 10 mudas, coletando a altura, quantidade de folhas, área foliar, massa seca do caule, massa seca da raiz e das folhas. Foram classificadas de acordo com as condições de luminosidade: Pleno sol, 50% de sombreamento, 70% de sombreamento e 90% de sombreamento (LIMA et al., 2008).

As plantas que estavam em condições de maior sombreamento tiveram áreas foliares reduzidas e menor massa seca em relação às plantas expostas diretamente ao sol. No pleno sol, após 90 dias de semeadura, o aumento na área das folhas e a quantidade de massa seca das mudas já estavam mais elevados em relação aos demais.

A área foliar representa um índice de produtividade da planta por possuir intensa ação fotossintetizante (Scalon et al., 2003). Analisando o comportamento vegetal diante de diferentes condições de luminosidade, a diferença na quantidade de superfície foliar, que é uma das respostas à quantidade de luz a qual é submetida, indica diferentes níveis metabólicos e de demanda energética e hídrica. Desta maneira, pede por volumes distintos de água na irrigação para suprir sua necessidade.

2.5 INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO AMBIENTE

De maneira mais geral, percebe-se que a principal influência da umidade do ar sobre planta tange o aspecto da demanda de vapor da atmosfera, pois assumir valores mais distantes dos moderados podem implicar em prejuízo para o vegetal. Estando relacionada à capacidade evaporante do ar, a umidade, ao encontrar valores muito baixos, induz uma perda líquida mais intensa nas plantas. Medições abaixo de 60% aumentam a taxa de transpiração, exigindo uma compensação hídrica por isso, enquanto que quando esse índice chega a marcas acima dos 90%, há uma diminuição significativa na transpiração, o que prejudica a absorção de nutrientes e favorece o

surgimento de doenças provocadas por fungos. Isso pode ser visto facilmente no cultivo de conídeos, onde as infecções nas raízes e na região aérea são mais intensas durante os períodos chuvosos (FERREIRA et. al., 2014).

A relação entre a umidade do ar e a demanda hídrica da planta estão fortemente conectadas num ciclo que o vegetal continuamente retira a água do solo, utilizando e entregando à atmosfera na forma de vapor pelas folhas. Esse fluxo é necessário para o desenvolvimento das plantações, pois é através dele que os minerais e nutrientes captados no solo são conduzidos ao longo do corpo vegetal (FERREIRA et. al., 2014). Por isso uma irrigação adequada, que seja condizente com o grau de transpiração, é vital para o bom crescimento da planta.

Para que haja um devido fluxo hídrico, a planta precisa absorver água do solo. Para isso, precisa eliminar água através da transpiração na superfície foliar. Sabendo que a umidade relativa do ar é medida como a concentração do vapor de água na atmosfera, essa transpiração só ocorre devidamente se a umidade do ar nas regiões mais próximas ao vegetal for relativamente menor, concedendo abertura para que as moléculas de água possam evaporar e passar a compor essa umidade atmosférica. Tal equilíbrio entre a umidade do ar e a transpiração vegetal está conectado ao equilíbrio hídrico entre o solo e a planta. Além de influenciar na transpiração vegetal, a umidade do ar influencia na taxa de evaporação do solo. Verifica-se, assim, que o sistema ar-solo-planta compõe a trindade principal que dita a necessidade hídrica das plantas (FERREIRA et. al., 2014).

2.6 REGRESSÃO LINEAR

Esta análise consiste numa técnica matemática cujo objetivo é correlacionar variáveis de um sistema. A regressão linear tem grande importância estatística, pois nos permite entender a influência de parâmetros sobre determinada variável, o que é usado tanto na compreensão do sistema estudado como na previsão de seu comportamento, uma vez que se pode estimar a relação entre os fatores que o compõe.

A partir da reunião de uma boa quantidade de dados de valores das variáveis, o modelo atua de maneira a determinar a combinação linear que relaciona a variável dependente às independentes. Caso a análise realizada pela regressão estabeleça a relação entre apenas uma variável dependente e uma variável independente, o

modelo é chamado de regressão linear simples, o que equivale graficamente a uma função afim. Quando são analisadas uma variável dependente e mais de uma variável independente simultaneamente, denomina-se o modelo de regressão linear múltipla, uma função de n dimensões, sendo n o número de variáveis envolvidas.

Ao se tratar de análise de correlação, cada variável independente é associada a um coeficiente de correlação, que indica o seu grau de influência nos valores que a variável dependente assume. Podendo ser uma correlação simples ou correlação múltipla.

- a) Os diagramas de dispersão são utilizados para a análise de regressão linear simples, em que possuímos uma variável dependente (de entrada) e uma variável dependente (de saída), de maneira que a coleta de dados é dada pelos pares ordenados:

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$$

A partir desses dados, constrói-se os gráficos de dispersão, neste caso, num plano cartesiano, onde é possível ter uma noção visual do padrão que associa a variável x , dependente, à variável y , independente, assim como noção visual de como a regressão linear atua.

Para a regressão linear simples, a plotagem dos dados como pontos (x, y) no plano cartesiano será aproximada por uma reta inclinada na aplicação da regressão linear. Para este modelo, o coeficiente angular da função encontrada corresponderá ao coeficiente de correlação simples. Para entendermos melhor a atuação matemática da análise, iniciaremos tratando do modelo de regressão simples.

2.6.1 Regressão Linear Simples

Para este caso, teremos a seguinte relação geral:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x + e \tag{1}$$

x = variável independente

y = variável dependente

e = variável aleatória residual. Esta variável tem o objetivo de assumir o comportamento de y que não pode ser relacionado linearmente a x .

b_0 = parâmetro a ser estimado

b_1 = parâmetro a ser estimado

Como exemplos, podemos relacionar o QI de um aluno às suas notas na escola, a relação entre a altura e peso de um ser humano, a relação entre o preço de um produto e sua demanda.

Para podermos efetuar a análise da regressão, teremos uma compilação de n dados, podendo relacionar x e y como foi apresentado anteriormente.

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$

Para cada uma dessas medições, temos que:

$$Y_i = b_0 + b_1 \cdot x_i + e_i, \text{ com } i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Assumindo “ e ” como uma variável aleatória independente de média = 0 e variância σ^2 , para um dado x_i medido, Y_i é uma variável aleatória com média tal:

$$\mu_{Y_i} = b_0 + b_1 \cdot x_i, \text{ com variância } \sigma^2 \quad (3)$$

Para cada par ordenado (x_i, y_i) registrado, a seguinte relação é estabelecida:

$$y_i = b_0 + b_1 \cdot x_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

relacionando (3) e (4), temos que:

$$y_i = \mu_{Y_i} + \varepsilon_i \quad (5)$$

A disparidade entre y_i e μ_{Y_i} é representada, então, por ε_i , definido como o erro (diferença entre a medida e seu valor médio). Com os dados coletados, estima-se os valores de b_0 e b_1 , utilizando seus valores na combinação linear gerada pela regressão linear simples:

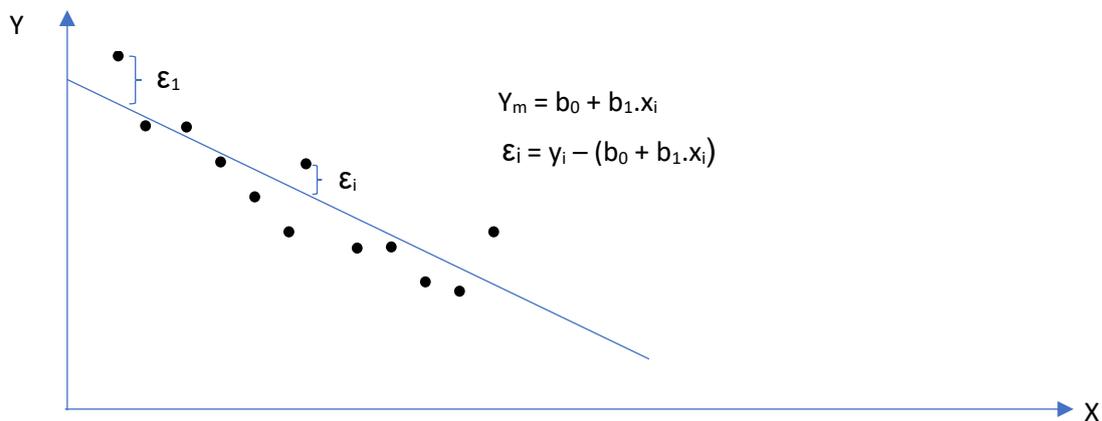
$$y_m = \mu_{my} = b_0 + b_1 \cdot x \quad (6)$$

y_m = valor médio de y para certo x , estimando, então, quanto vale o y para o x dado

Naturalmente pensa-se na média como uma estimativa razoável para o valor de uma variável, mas o que se busca, de fato, é que as previsões sejam as mais acuradas possíveis, ou seja, com menores erros. Estatisticamente, existem modelos mais refinados para alcançar este resultado do que apenas considerando o próprio valor médio.

Assim, buscando encontrar a melhor correlação entre x e y , procura-se reduzir as margens de erro entre o previsto e o medido. O método utilizado para isso é o de Mínimos Quadrados.

Figura 1 - Gráfico do erro de regressão linear simples



Fonte: o autor (2019)

Como foi dito anteriormente e pode ser visto no gráfico apresentado acima, ϵ_i representa a disparidade entre o previsto (y_m) e o valor medido (y_i), ou seja, o erro.

$$\epsilon_i = y_i - y_m \rightarrow \epsilon_i = y_i - (b_0 + b_1 \cdot x_i) \quad (7)$$

Temos que $\epsilon_i = y_i - y_m$ representa o i -ésimo erro (ou resíduo) entre a reta e o obtido. A Estimação pelo método de Mínimos Quadrados procura determinar um b_0 e b_1 tal que a soma dos quadrados desses erros (SQE) seja a menor possível.

$$SQE = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (b_0 + b_1 \cdot x_i)]^2 \quad (8)$$

Para minimizar SQE, desenvolve-se a derivada da soma em relação a cada parâmetro, de tal forma que:

$$\frac{\partial SQE}{\partial b_0} = 0$$

$$\frac{\partial SQE}{\partial b_1} = 0$$

A partir disso, obtém-se:

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2} \quad (9)$$

Os coeficientes calculados acima representam os parâmetros ótimos para a previsão dos valores da variável dependente de acordo com o método dos mínimos quadrados.

2.6.2 Regressão Linear Múltipla

Neste caso, existem várias variáveis independentes (x_1, x_2, \dots, x_k) variável dependente. O objetivo, assim como no caso anterior, é achar a relação matemática entre as entradas e saídas, necessitando, para isso, achar os coeficientes b_0, b_1, \dots, b_k .

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_k \cdot x_k + e \quad (10)$$

Para as n medições realizadas, tem-se:

$$Y_i = b_0 + b_1 \cdot x_{1i} + b_2 \cdot x_{2i} + \dots + b_k \cdot x_{ki} + e_i, \text{ com } i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

As equações geradas são tais:

$$Y_1 = b_0 + b_1 \cdot x_{11} + b_2 \cdot x_{21} + \dots + b_k \cdot x_{k1} + e_1$$

⋮

$$Y_n = b_0 + b_1 \cdot x_{1n} + b_2 \cdot x_{2n} + \dots + b_k \cdot x_{kn} + e_n$$

Assumindo “ e ” como uma variável aleatória independente de média = 0 e variância σ^2 , para valores de x_{1i}, \dots, x_{ki} medidos, Y_i é uma variável aleatória com média tal:

$$\mu_{Y_i} = b_0 + b_1 \cdot x_{1i} + \dots + b_k \cdot x_{ki}, \text{ com variância } \sigma^2$$

Os pontos cartesianos que contém as iterações de cada x_i e y são dados por:

$$(y_1, x_{11}, x_{21}, \dots, x_{k1}), (y_2, x_{12}, x_{22}, \dots, x_{k2}), \dots, (y_n, x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{kn})$$

Para cada coordenada de dados registrados, a seguinte relação é estabelecida:

$$y_i = b_0 + b_1 \cdot x_i + \dots + b_k \cdot x_{ki} + \varepsilon_i \quad \text{com } i = 1, 2, \dots, n$$

substituindo I em II, temos que:

$$y_i = \mu_{Yi} + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Denotando o sistema de maneira matricial, temos:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{k1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_0 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

$$\text{Em uma escrita mais sucinta: } Y = X \cdot B + \varepsilon \quad (12)$$

Em que:

Y = vetor com os valores da variável dependente

X = matriz contendo os valores das variáveis independentes

B = vetor dos coeficientes

ε = matriz com os valores dos erros de cada coleta de dados

Com os dados coletados, estima-se os valores de b_0, b_1, \dots, b_k , utilizando seus valores na combinação linear gerada pela regressão linear múltipla para estimar y:

$$y_m = \mu_{my} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_k \cdot x_k$$

y_m = valor médio de y estimado para um grupo de x_1, x_2, \dots, x_k

O erro inerente a estimativa pode ser calculado como:

$$\varepsilon_i = y - y_m = y - (b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_k \cdot x_k) \quad (13)$$

Mais uma vez, utilizando o método dos mínimos quadrados, operamos com as derivadas da soma dos quadrados dos erros de cada iteração em relação a cada coeficiente.

$$\frac{\partial SQE}{\partial b_0} = 0;$$

$$\frac{\partial SQE}{\partial b_1} = 0;$$

⋮

$$\frac{\partial SQE}{\partial b_k} = 0$$

Disso, obtém-se:

$$B = \begin{bmatrix} b_0 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y \quad (14)$$

Com base neste cálculo matricial podem ser encontrados os parâmetros b que compõem a fórmula de regressão linear.

2.7 INTERNET DAS COISAS

O intenso desenvolvimento da internet no mundo foi acompanhado da readaptação tecnológica em torno desse novo recurso. Isso permitiu uma difusão exponencial de conhecimento e a criação de uma nova maneira de interação entre as pessoas e o mundo.

A internet migrou de sua forma inicial de comunicação que interligava grandes laboratórios de pesquisa para se tornar uma grande rede popular com uma quantidade massiva de dados, e assim, iniciou essa reformatação que permitiu a disseminação do conhecimento, interconexão e desenvolvimento mais acelerado da automação. A internet tornou obsoleta uma imensa quantidade de processos, substituindo atividades carregadas de esforço e investimento por simples cliques instantâneos. Essa característica foi sendo continuamente desenvolvida e agregada ao cotidiano humano. (LINS et al., 2013).

O controle dinâmico de maquinário, redução de mão de obra humana para garantir uma maior precisão no funcionamento processos industriais, respostas automáticas à estímulos e situações considerando uma gama imensa de fatores ao redor de todo o globo e muitas outras possibilidades começaram a ser exploradas com a interatividade concedida pela rede, carregando essa automatização até ao nível individual e domiciliar.

Atividades simples como controle de temperatura de uma casa, achar as chaves do carro, dúvidas acerca de assuntos diversos ou até segurança residencial passaram a ser executadas não mais por pessoas, mas através de dispositivos e programas pautados no fluxo de dados circulados na internet. A conexão contínua do homem e o ambiente ao seu redor passou a ser intermediada por esses dispositivos

inteligentes. Dessa maneira, a própria forma de interação entre o homem e o meio foi e está sendo gradativamente remodelada (Mancini, 2018).

Como disse Zambarda (2014), conectar objetos entre si é um pensamento que vem sendo maturado desde 1991, com o aumento significativo do alcance da Internet. O termo “Internet das coisas” (IoT, do inglês “*Internet of Things*”) foi proposto por Kevin Ashton do MIT em 1999, se referindo a grande revolução tecnológica que estava conectando equipamentos e aparelhos do dia a dia com a grande rede de computadores.

A popularização dessa internet das coisas se tornou ainda maior com a criação de embarcados com propostas bem acessíveis à população. Criar os próprios dispositivos, determinar a própria forma de interação, desenvolver uma forma personalizada de automação passou a ser algo bastante real e popular. Plataformas minúsculas com capacidade de processamento similares a grandes e robustos computadores, mas com preços acessíveis contribuíram com uma multiplicação cumulativa da variedade de possibilidades e aplicações desses recursos.

2.7.1 IOT na agricultura

A versatilidade da Internet das Coisas também encontrou campo na agricultura, tanto no perfil de larga escala como também nos casos de uma produção mais compacta. A agregação de um potencial mais elevado em capacidade de controle somou perfeitamente com o contexto de estufas, em que o cultivo de frutas, legumes, verduras e até plantas decorativas num local protegido é uma prática que vem sendo cada vez mais adotada. Isso se deve ao fato de que o uso desse tipo de cultivo permite uma melhora na produção e na qualidade do produto final. O que permite a existência dessa aplicação em estufas é o fato de existir uma proteção das condições aleatórias do meio externo, concedendo um controle de clima, pragas, condições do solo ou problemas no fornecimento de água.

Para garantir essa melhoria no processo de cultivo e no produto gerado, é necessário um bom controle microclimático, manejando variáveis como calor, luz e umidade para garantir um bom desenvolvimento das plantas de acordo com suas necessidades particulares. Esse manejo mais confinado com controle dos fatores

climáticos permitiu também a produção de culturas que não seriam encontradas naturalmente no local, pois agora seria possível o cultivo graças à readequação das condições climáticas de forma artificial (Fernandes et al., 2017).

Segundo Moraes et al (2017), a IoT possibilitou a interatividade entre sensores que medem condições climáticas ou variáveis relativas ao solo, traçando perfis e padrões acerca de sua qualidade, informando o cultivador sobre a necessidade de alterações para garantir o bom desenvolvimento e manutenção da plantação. Como é apontado por Mancini (2017), a gestão da agricultura apresenta espaço para as contribuições da IoT em várias atuações: segurança, controle de produtos, controle de qualidade, registro e avaliação das condições do ambiente para o plantio, controle da produção, gerenciamento da água utilizada na irrigação e aumento de precisão ao reduzir a necessidade do trabalho humano em algumas etapas (Moraes et al., 2017).

Nessa linha de menor necessidade de manuseio humano, o potencial de IoT, ao entrar no contexto de estufas, permitiu um controle ainda mais preciso e com independência parcial ou total da atividade de pessoas. O monitoramento contínuo das condições de estufas e a consequente administração do próprio cultivo em si foram possíveis através do uso de um sistema de sensoriamento inteligente associado a uma comunicação ágil concedida pelo uso da internet.

Um exemplo dessas aplicações é o uso do produto Sismon, desenvolvido pela empresa R4F, aplicado inicialmente à produção de tomate cereja em São Paulo e no Rio Grande do Sul com uma boa aceitabilidade por parte dos produtores agrícolas. Esse sistema permite o monitoramento dinâmico da estufa pelo produtor, podendo ver e analisar as condições microclimáticas dela em tempo real. Isso pode ser feito remotamente e independentemente do local em que o produtor se encontra, bastando apenas estar conectado à internet. Assim, o cultivador obtém dados valiosos para melhor controle de sua produção. Além disso, o Sismon permite o uso de recursos de *Big Data* para a melhoria do processo através de uma avaliação do registro de informações coletadas no tempo. Atualmente, o sistema está presente em estufas de São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, Tocantins, Minas Gerais e Goiás.

Com novas versões de aperfeiçoamento, o sistema desenvolvido agora é capaz de controlar a injeção de uma grande variedade de fertilizantes de maneira autônoma,

assim como também aplicar receitas nutritivas às culturas, analisando o tipo de planta e seu crescimento, comandando também a fertirrigação com plataformas de microcontroladores, sensores e relés, para controlar a abertura das válvulas, permitindo um manejo preciso da água utilizada e do adubo fornecido de acordo com a fase em que cada planta se encontra.

2.8 AGRICULTURA DE PRECISÃO

O aprimoramento das técnicas aplicadas no plantio, o uso de novas tecnologias e melhorias nos insumos exemplificam fatores que proporcionaram um aumento na eficiência e produtividade na agricultura. Através de uma abordagem mais analítica, avaliando e estudando os fatores envolvidos no cultivo e nos demais processos de produção agrícola, gera-se um conjunto de informações que agregam em entendimento sobre a atividade e permitem o gerenciamento de melhorias, com experimentos e estratégias que levam ao aumento do rendimento nas plantações (FILHO, 2015).

A agricultura de precisão corresponde a essa abordagem. Através do estudo do meio, da variabilidade do ambiente, com coleta de dados, análise, testes, avaliações de resultados, com o foco em alavancar a qualidade e a produtividade do cultivo, esse sistema busca entender as relações de causa e efeito existentes na prática agrícola para atuar de forma a gerar as condições ideais para o desenvolvimento dos vegetais considerando o processo produtivo (FILHO, 2015).

Com o uso de dados para permitir um conhecimento mais completo do ambiente e do cultivo e o gerenciamento de estratégias de produção, a agricultura de precisão conta com o caminhar da tecnologia para operar de maneira cada vez mais efetiva. Sensoriamento adequado, softwares de análise, equipamentos que permitem captar informações sobre o solo, localização, densidade vegetal, distribuição de culturas, são alguns dos recursos utilizados em muitas aplicações desse sistema para a geração e análise de insumos. A precisão proposta pela agricultura consiste na consideração dos fatores relativos do sistema agrícola no próprio cultivo, deixando de enxergar uma região ou grande plantação como um ambiente homogêneo para entender as mudanças ao longo de sua geografia e plantar de maneira a utilizar esta não uniformidade do ambiente a favor do cultivador (CAPELLI, 1999).

A proposta é de, com o uso da tecnologia e análise de dados, entender os fatores do ambiente e sua variabilidade no espaço para poder fornecer a quantidade certa de insumos para cada parte específica da plantação, considerando que cada região, por menor que seja, apresenta características únicas e, assim, deve ser tratada de maneira única, sempre visando o aumento de produtividade, eficiência e uso dos recursos (TSCHIEDEL, 2002). Com o uso da agricultura de precisão, obtém-se benefícios como: redução de custos, melhoria na exatidão da tomada de decisão, maior efetividade no controle gerencial dos processos e maior preservação do ambiente e dos recursos naturais (TSCHIEDEL, 2002).

2.9 PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO

O Atmega é o processador utilizado na placa do Arduino. Esta é uma plataforma criada em 2005 por Massimo Banzi, Tom Igoe, Gianluca Martino, David Cuartielles e David Mellis. Desenvolvido na Itália, o Arduino foi criado com o objetivo de ser um dispositivo de fácil programação, acessível e de funcionalidade relevante, de maneira que qualquer estudante, profissional ou amador poderia utilizar dos seus recursos, personalizando-os para criar dispositivos mecatrônicos simplificados. A plataforma é um sistema embarcado, com grande abertura para que seja montado com outros componentes, melhorado, carregado com diferentes programas e que se desenvolva conteúdo para ser aplicado. A comunidade associada a esta plataforma dá suporte ao desenvolvimento de sistemas.

Por conta dessa grande abertura, o Arduino se popularizou rapidamente no planeta. Presente em protótipos, casas e empresas, a versatilidade da plataforma garantiu que ela se espalhasse rapidamente em diversas comunidades, sendo utilizada como instrumento de ensino e aprendizado, aproximando estudantes do âmbito da programação, eletrônica e robótica.

A plataforma Arduino tem o seu potencial ainda mais alavancado por sua grande capacidade interativa com o meio. Essa interação se dá através do uso de sensores e atuadores, que comunicam o controlador com o ambiente externo de maneira inteligente.

A vasta conexão entre a comunidade usuária da plataforma permitiu uma criação acelerada de uma grande quantidade de sensores e atuadores para serem usados nas mais diversas aplicações, de maneira que a adaptação e inovação do sistema Arduino foi aumentando exponencialmente pela contribuição da própria comunidade.

Diante dessa vasta aceitação da proposta que o Arduino trouxe, começaram a ser desenvolvidos novos modelos de placa de circuito. O modelo inicial era o Arduino Uno (figura abaixo), que tem uma aplicabilidade mais geral e com uma capacidade de processamento mediana. Modelos com diferentes configurações, aplicações e capacidade foram introduzidos depois, como o Arduino Mega, Nano, Mini, Leonardo, Due e Esplora.

Figura 2 - Placa de Arduino Uno



Fonte: CHAVIER, 2018.

3 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será analisado o contexto do que já foi desenvolvido utilizando ferramentas IoT na área da agricultura, trazendo alguns trabalhos práticos relacionados com o tema proposto e alguns recursos mais gerais, como é o caso seguinte:

- a) A tecnologia de computação nas nuvens consiste no uso de serviços de computação, tais como armazenamento, plataformas, softwares, simuladores e análises através da internet. A aplicabilidade dessas ferramentas à agricultura tem-se mostrada diversa e valorosa. 3 classes de aplicações são destacadas a seguir:
- Computação em nuvens no gerenciamento de plantação: Através do uso de bancos de dados pode ser realizado o gerenciamento das informações dos processos de produção. Isso permite a análise do desempenho da produção, verificação de grupos individuais de planta, realizar cálculos, planejar a produção, análise automática de problemas e possíveis melhorias no cultivo (TongKe, 2017);
 - Computação em nuvens na identificação da produtividade de medidas de gestão da plantação: Essa tecnologia permite estimar o efeito de produtividade no gerenciamento do cultivo de plantas através de funções construídas com o uso de simulação computacional e modelos matemáticos. Num exemplo, pesquisadores usam esses aparatos para calcular o benefício de estratégias de gestão usadas em diferentes processos de crescimento de plantas. Isso permite uma evolução mais acelerada e indutiva nos modelos de cultivo (TongKe, 2017);
 - Computação em nuvens no rastreamento e controle de produtos agrícolas: Uma das principais características do uso das tecnologias de computação em nuvem é a conectividade do processo e entre processos. Com o uso dessa tecnologia é possível desenvolver um rastreamento em sistemas de produção agrícolas, permitindo a monitoração do uso de produtos agrícolas e assim garantindo segurança e confiabilidade nos produtos (TongKe, 2017).

b) *Wireless Sensor Network* (Rede de sensores sem fio) ou WSN é uma rede de sensores conectados remotamente com uma aplicação pré-definida que tem agregado significativamente no campo agrícola em diferentes cantos do globo (Gutiérrez et al., 2014). Dentre as principais classes de aplicação dessa tecnologia fruto da IoT, temos:

- TWSNs (*Terrestrial Wireless Sensor Network* ou Rede terrestre de sensores sem fio): Nessa forma de atuação, os sensores utilizados no sistema são aplicados na superfície do solo. Uma aplicação típica desse modelo consiste na disposição de sensores sem fio, com fonte própria, de umidade do solo ao longo da plantação. Esses sensores estabelecem uma comunicação entre si baseada em Rádio Frequência (RF) e com um dispositivo de porta de entrada/saída (*gateway*) que recebe os dados dos sensores e os envia pela internet via sistema global de comunicação móvel (GSM). Além de poder monitorar remotamente a partir de qualquer local, apenas com o uso da internet, é possível também controlar a irrigação (duração de quantidade de água) por meio de mensagens SMS. Foi proposto um sistema desse tipo aliando a tecnologia WSN com módulos de GRPS para comunicação por Gutiérrez et al. (2014);

- WUSNs (*Wireless underground sensor networks* ou Rede de sensores subterrâneos sem fio): Esse modelo funciona de forma semelhante ao anterior, com a diferença de que seus sensores são dispostos ao longo do campo de maneira subterrânea. Na prática isso implica em prejuízo na comunicação em frequências elevadas (Gutiérrez et al., 2014), assim, para garantir a mesma efetividade do sistema com sensores sem fio (pois os que tem fio ficam mais sujeitos ao desgaste pelas atividades de cultivo), é necessário usar uma quantidade maior de sensores para que os sinais sejam devidamente comunicados. Assim como no TWSN, possui um *gateway* e interação com a internet via GSM. No México, em San Jose del Cabo, um caso prático de aplicação da WSN no contexto agrícola exemplifica o uso da tecnologia. O projeto consistiu no uso dos

recursos de WSN para combater o desperdício de água no cultivo agrícola. Com a implementação de sensores sem fio, *gateway* e um servidor, foi utilizada a técnica de rede subterrânea de sensores sem fio. Usando medições de valores de umidade e de temperatura em diferentes níveis de profundidade no solo, o sistema faz o registro de dados no servidor central, que se comunica com o *gateway* por meio de GPRS e ZigBee (Ojha et al., 2015), e também possui a capacidade de controle automático de irrigação a partir dos sinais coletados pelos sensores. Condizendo com o que foi descrito por Gutiérrez et al. (2014), que os sistemas de irrigação automáticos são formados pela rede WSN, o *gateway* e um servidor, este sistema foi composto de três partes principais: A primeira corresponde às unidades de sensores sem fio, em que cada unidade possuía sensores físicos, um microprocessador, um transceptor de rádio frequência e uma fonte de energia. Com o objetivo de otimizar o uso de energia, os microcontroladores eram utilizados no *sleep mode* e eram acoplados a eles minipainéis solares para recarregar as baterias. A segunda parte corresponde à unidade de Informação sem fio. Com o uso da tecnologia de comunicação ZigBee, a unidade coleta os dados provenientes dos sensores e, a partir dos valores de temperatura e umidade obtidos, executa comando de irrigação. Tanto a informação recebida dos sensores quanto a atuação determinada pelo microcontrolador sobre a irrigação são enviados ao servidor central por meio de GPRS. O controle da rega é feito a partir de relés controlando as válvulas solenoides. O sistema possui 4 modos de operação: (i) irrigação manual, (ii) irrigação pré-definida, (iii) irrigação automática, acionada quando pelo menos 1 sensor mostra condições de temperatura e umidade abaixo do valor pré-definido e (iv) irrigação automática quando um sensor mostra condições de temperatura e umidade acima do valor pré-definido. A terceira parte corresponde ao servidor central remoto, que além do armazenamento de dados, ele é responsável por apresentar os dados coletados dos sensores e atuadores numa interface gráfica, mostrando as leituras de cada uma das unidades de sensores, quantidade de água consumida e o modo de operação de irrigação.

- c) Sistema de irrigação e colheita de Alfafa: Este projeto apresentado por Saha et al. (2011) consistiu no desenvolvimento de um sistema de irrigação automático que busca a eliminação do excesso de água no cultivo de alfafa. Os estudos foram feitos com base no solo de argila e iodo no campus da UC Davis, na Califórnia, pois essa é a região em que a Alfafa apresenta os maiores níveis de consumo de água.

Anteriormente era aplicada a irrigação de inundação, mas o problema era que o escoamento da água tornava o sistema pouco eficiente, então, foi desenvolvido um sensor sem fio que fornece informações sobre a irrigação via celular (SMS), alertando sobre o momento necessário para desligar o fornecimento de água e evitar o desperdício. A partir de um módulo web o operador pode interferir no processo automatizado de execução.

Com o objetivo de ver trabalhos numa realidade mais próxima do que é proposto neste documento, é trazida uma pesquisa por alunos do Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP) sobre das aplicações da IoT na agricultura, com levantamento teórico e atividade prática, foi realizado um estudo de caso se baseando nas necessidades e condições de hortifrutigranjeiros na cidade de São Paulo (Muxito et al., 2018). A prática consistiu na construção do SAPI (Sistema de Automação para Pivô de Irrigação). O sistema, que é baseado no uso de um higrômetro conectado à plataforma arduino e motores, atua em 3 frentes:

- Leitura dos níveis de umidade: os dados coletados pelo sensor são relatados com visualização amigável dos dados numa interface web e display LCD;
- Agendamento de ativação: através da própria interface web, estando em contato com o histórico de leituras do sensor, o usuário pode pré-definir a irrigação com base nos horários e nos níveis de umidade, determinando os ciclos em que o processo operará;
- Ativação ou interrupção do processo: a interface web também permite que o operador inicie ou interrompa a irrigação a qualquer momento que julgar necessário.

Pôde ser verificado que o sistema atendeu os principais objetivos: diminuição da necessidade de controle manual, automação de atividades cíclicas e das medições. Foi verificada a capacidade do sistema de substituir tarefas humanas, de maneira integral ou parcial, ou até melhorá-las. Dentre os problemas, foi registrado a falta da capacidade de configuração de acordo com tipos específicos de produção (pois os níveis de umidade e sua relação com a necessidade de irrigação variam com os tipos de cultura e esquema de cultivo). Foram percebidos alguns fatores relevantes que não foram considerados na primeira versão do projeto, como a profundidade de medição da umidade, que também é relativa ao tipo de plantação. Além disso, a versão seguinte do sistema, ainda em desenvolvimento, conta com planos de interação com a interface móvel de um smartphone (Muxito et al., 2018).

Nos aspectos de melhorias ainda pensadas, os pesquisadores relatam que a integração com sistemas públicos de previsão de tempo iria agregar melhoria significativa na versatilidade e eficiência do sistema, pois o SAPI poderia adiar um ciclo de irrigação ou até cancelá-lo, se necessário (Muxito et al., 2018).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será explicado o funcionamento do dispositivo, seus componentes, os modelos matemáticos nos quais foi pautado e como ele opera. Inicialmente será explicada de maneira mais geral a função do dispositivo, em seguida, uma análise mais detalhada de sua operação e, por fim, seus resultados.

4.1 FUNÇÃO

O sistema desenvolvido neste projeto tem por objetivo funcional controlar a quantidade de água utilizada na irrigação com adaptação a mudanças nas condições do ambiente em função de cinco aspectos: umidade do solo, umidade do ar, temperatura do ar, temperatura do solo e luminosidade. O controle é definido a partir da observação do comportamento da irrigação do cultivador, tomando-se como premissa que irrigação é realizada por um cultivador que utilize a quantidade adequada de água para a planta. Para que isso seja possível, tem-se como objetivos parciais:

- a) Medir variáveis de condições ambientais durante a irrigação convencional;
- b) Correlacioná-las com a quantidade de água utilizada na rega;
- c) Estabelecer uma função de combinação linear que determine a quantidade de água que deve ser usada na irrigação quando houver mudanças nas condições das variáveis usadas como parâmetros;
- d) No modo automático, controlar o volume de água usado na irrigação com base na fórmula encontrada.

Em outras palavras, o modelo entende como o cultivador irriga em função de certos parâmetros de condições ambientais, medidos ao longo de vários ciclos de rega, e então “replica” essa forma de irrigar, adaptando-a para diferentes combinações desses parâmetros, ou seja, diferentes condições em que o ambiente se encontre. Essa capacidade de adaptabilidade é uma das principais características deste sistema. Por questão de relevância de em relação a quantidade de água demandada pela planta, os parâmetros utilizados pelo sistema foram:

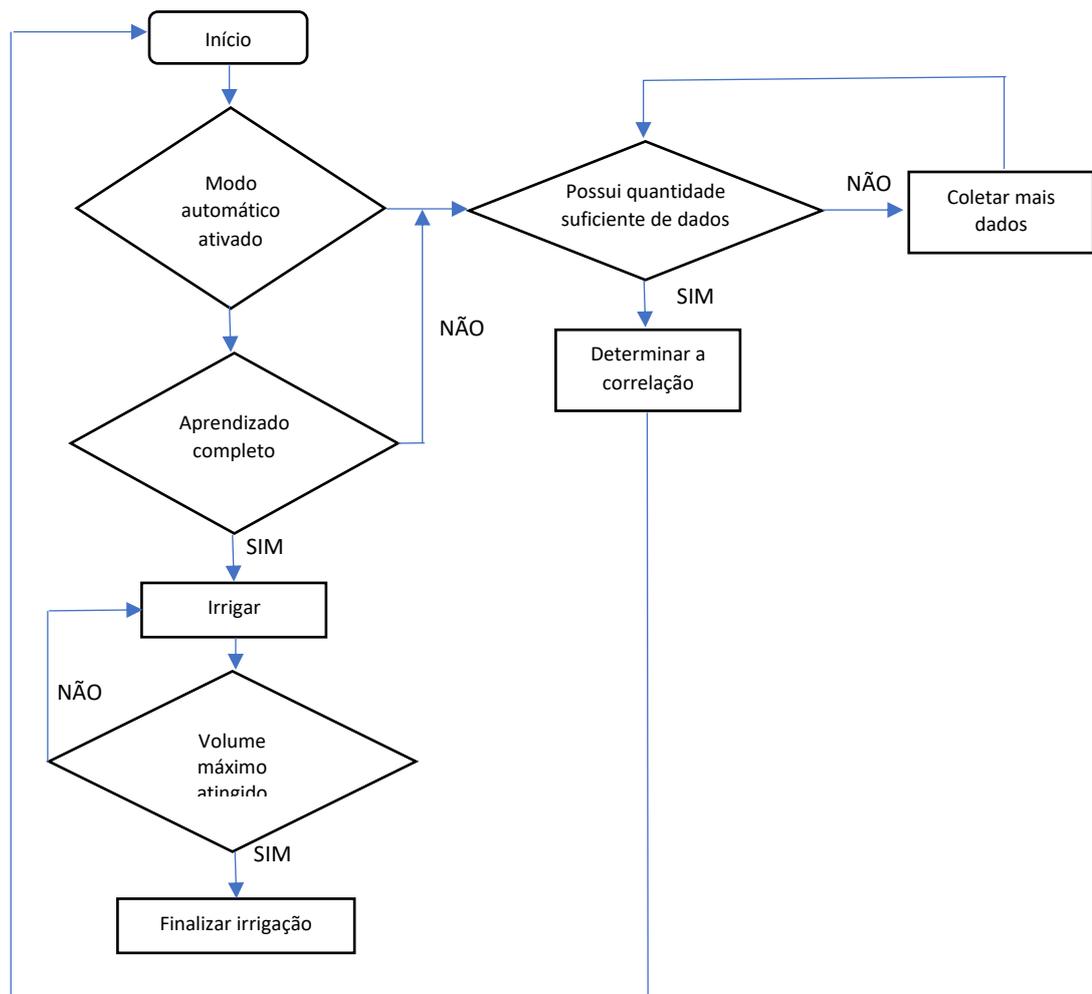
- a) Umidade do Solo;
- b) Umidade do ar;
- c) Temperatura do Ambiente;

- d) Temperatura do Solo;
- e) Luminosidade.

Assim, os sensores utilizados captam os valores dessas variáveis no início do processo de regadio. Com esses valores armazenados, ao final do processo, é registrado o volume de água usado. Isso é feito algumas vezes até que se obtenha dados suficientes para correlacionar os parâmetros à saída de água, o que ocorre através de uma regressão linear múltipla que determina o volume hídrico que será usado nas diferentes situações. As informações sobre a irrigação e medições são enviadas pelo dispositivo para o celular do usuário via conexão bluetooth.

Para melhor entendimento, o fluxograma da figura 3 apresenta de maneira gráfica o princípio de funcionamento do dispositivo

Figura 3 - Fluxograma do Sistema



Fonte: o autor (2019)

O sistema só pode irrigar automaticamente caso possua já possua a fórmula fornecida pela regressão linear. Para isso, precisa ter alcançado a quantidade mínima determinada de dados (20, para este dispositivo, por determinação arbitrária) que serão interpretados pelo Arduino. Até lá, continuarão sendo requisitadas mais coletas de dados para que o sistema possa executar o cálculo da regressão.

4.2 OPERAÇÃO

Para entendimento mais detalhado do processo exposto acima, será feita uma análise do passo a passo da atuação do dispositivo com base nas 2 etapas seguintes:

- a) A correlação;
- b) A replicação.

4.2.1 A correlação

Para que o sistema associe as condições ambientes à sua demanda hídrica na irrigação, será feita uma regressão linear múltipla a partir dos dados coletados.

Cada coleta contém a medição de luminosidade, umidade do ar, umidade do solo, temperatura do ar e temperatura do solo e quantidade de água utilizada na irrigação. Com as 20 coletas realizadas, será formada uma matriz 20x6, com cada coluna equivalendo aos valores das variáveis medidas. A regressão será feita por:

$$B = \begin{bmatrix} b_0 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y$$

Assim, a fórmula da regressão linear é encontrada (correlação estabelecida) ao se encontrar os parâmetros b que multiplicam os dados de entrada para estimar a variável de saída (quantidade de água a ser utilizada). A função obtida será do tipo:

$$\text{Vol}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5$$

Em que:

x_1 = temperatura ambiente

x_2 = temperatura do solo

x_3 = umidade do ar

x_4 = umidade do solo

x_5 = luminosidade

b_0, \dots, b_5 = coeficientes das respectivas variáveis

$\text{Vol}(\dots)$ = variável dependente, neste caso, o volume de água que deve ser usado na irrigação

4.2.2 A replicação

$$\text{Vol} (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5$$

Uma vez determinada a fórmula acima na qual o algoritmo deve operar, o modo automático pode ser colocado em prática. Nesse modo, antes de o dispositivo iniciar a irrigação automática, ele faz a leitura dos dados de entrada dos sensores.

Após captar os dados medidos pelos sensores, o programa os usará na combinação linear construída, encontrando matematicamente o resultado dessa combinação, ou seja, a quantidade de água que deve ser usada na irrigação. Então a válvula de controle de vazão permanece aberta até que esse volume calculado seja alcançado, quando, então, a irrigação é cessada e concluída.

4.3 COMPONENTES

Para compreender o funcionamento e atuação do dispositivo, é necessário ter conhecimento de sua composição. Os componentes eletrônicos e eletro-mecânicos que formam o sistema são:

- a) Arduino Mega: Placa de arduino do modelo Mega 2506. Possui 54 pinos de entrada/saída digital, dos quais 15 possuem a função PWM. 16 portas analógicas e 4 para comunicação serial. A Atmega2560 combinada com o clock de 16Mhz fornece capacidade mais que suficiente para a realização das operações do dispositivo;

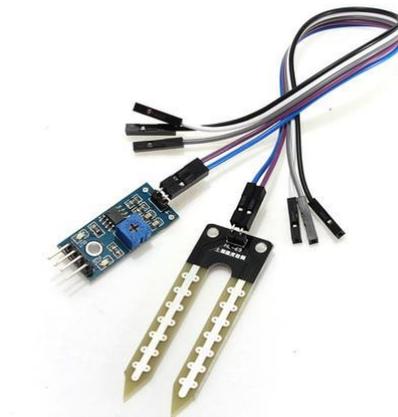
Figura 4 - Placa de Arduino Mega



Fonte: Site Richelt

b) Higrômetro: o sensor que mede a umidade do solo, de modelo 9SS19, faz a medição com base na condutividade elétrica do solo. Por ser acessível e prático, optou-se pela sua utilização na validação do dispositivo, mas recomenda-se em trabalhos futuros e em aplicações que se julgue necessidade de maior precisão, a utilização de sensores de melhor qualidade, pois o 9SS19 determina a umidade com base em características elétricas do solo, mas mudanças na composição iônica do solo, e não apenas do teor de água, também podem afetar as leituras;

Figura 5 - Higrômetro



Fonte: Site Vida de Silício

c) LDR: A fotocélula é um transdutor que mede o nível de luminosidade a qual sua face superior é submetida a partir da mudança da resistividade do material dessa superfície com diferentes condições de luminosidade. Quanto maior a quantidade de luz incidindo sobre o sensor, menor a sua resistência, então, conseqüentemente, menor a corrente que passa por ele e menor a leitura de voltagem no pino de entrada analógica a qual é conectado;

Figura 6 - Sensor de Luminosidade



Fonte: Site Marino Store

- d) Sensor de Umidade e temperatura DHT22: este sensor realiza medidas tanto de temperatura quanto de umidade relativa do ar. Recomenda-se o uso, pelo menos, do modelo DHT22, sendo o DHT11 menos preciso e mais passível de erros e incompatibilidade;

Figura 7 - Sensor de Temperatura e Umidade DHT22



Fonte: Site Baú da Eletrônica

- e) Sensor de temperatura DS18B20: este sensor mede a temperatura, apresentando impermeabilidade e uma capsula de aço INOX que fica em contato com a região cuja temperatura deve ser mensurada. Apresenta atraso na leitura adequada caso for submetido a uma variação brusca de temperatura, demorando a chegar à temperatura real;

Figura 8 - Sensor de Temperatura DS18B20



Fonte: Site Makerlab-Eletronics

- f) Medidor de fluxo de água: Através do uso do efeito Hall, é feita a mensuração da quantidade de água que passa por este sensor, movimentando um eixo com pás, que, ao rodar, faz com que um ímã passe ciclicamente próximo a um sensor de efeito Hall, identificando a rotação das pás e, então, a quantidade de água que atravessa o medidor;

Figura 9 - Sensor de vazão de água



Fonte: Site Mss Eletrônica

- g) Válvula Solenoide: esta válvula controla o fluxo de água que passa pelo dispositivo, em que, ao passar uma corrente por seu solenoide, a válvula é aberta e a água flui. Se a corrente for cessada, a válvula retorna ao seu estado fechado. É alimentada por uma fonte de 12V e controlada por um módulo Relé, que permite a passagem ou não da corrente pelo solenoide da válvula;

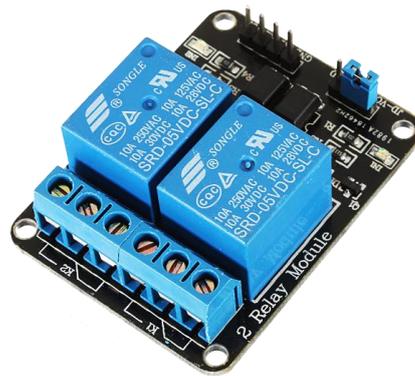
Figura 10 - Válvula Solenoide



Fonte: Site Baú da Eletrônica

- h) Módulo Relé: é responsável pelo controle da válvula solenoide, abrindo-a ou fechando-a de acordo com a passagem de corrente. O módulo é controlado pelo Atmega e conectado ao arduino por uma porta digital. Alimentado apenas por 5V, mas podendo controlar o estado de equipamentos que operem até 10 A. É necessário o seu uso, pois o arduino não pode controlar a alimentação de um componente de 12V (válvula solenoide), exigindo um intermediador (relé);

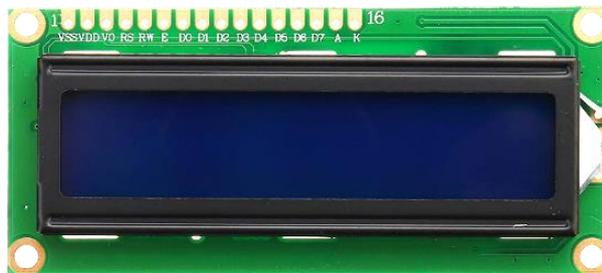
Figura 11 - Módulo Relé



Fonte: Site Filipe Flop

- i) Módulo LCD: primeira interface visual do dispositivo com o usuário, com uma matriz 20x4 de dígitos, tem fundo azul e 16 pinos para conectar-se ao arduino;

Figura 12 - Módulo LCD



Fonte: Site Bang Good

- j) Módulo I2C: Módulo Serial de interface que é conectado aos 16 pinos do LCD e então conectado ao arduino por meio de 4 pinos. Assim, foi utilizado para reduzir a quantidade de portas necessárias do arduino para ligar-se ao módulo LCD;

Figura 13 - Módulo I2C



Fonte: Site Filipe Flop

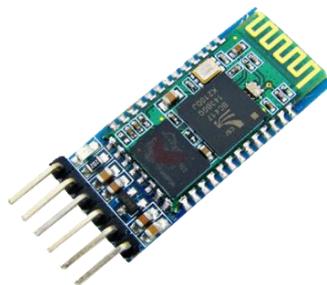
Figura 14 - Módulo I2C conectado ao módulo LCD



Fonte: Site Tecnotronics

- k) Módulo Bluetooth: modelo HC-05, é utilizado para transmitir as informações do dispositivo para o celular do usuário.

Figura 15 - Módulo Bluetooth HC-05



Fonte: Site Filipe Flop

4.4 DESCRIÇÃO DO DISPOSITIVO

O dispositivo pode ser observado nas figuras 16 e 17:

Figura 16 – vista lateral esquerda do dispositivo montado



Fonte: o autor (2019)

Figura 17 – vista lateral esquerda do dispositivo montado



Fonte: o autor (2019)

4.4.1 Modo de uso

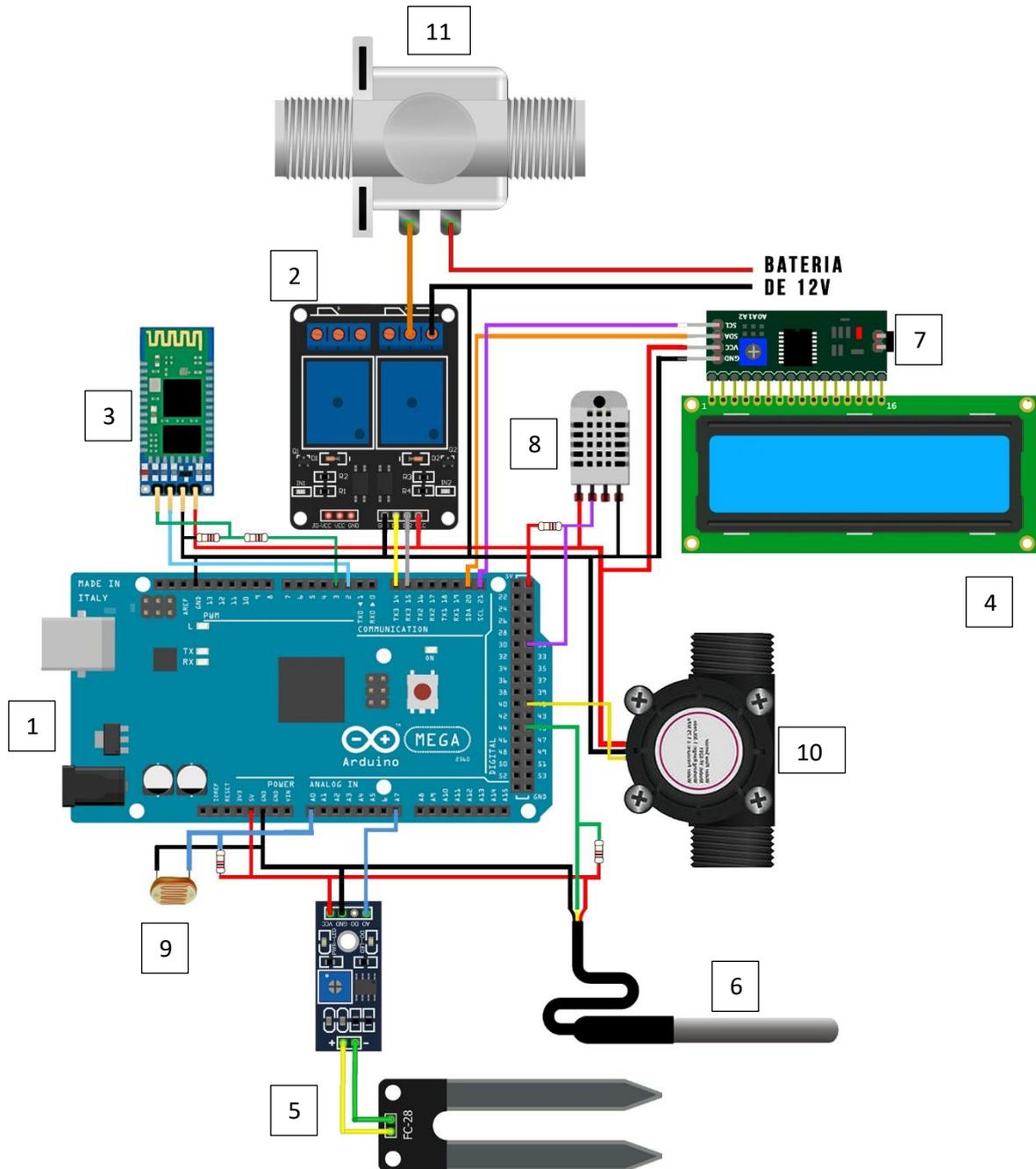
- a) Armação: Colocar uma mangueira conectando o dispositivo ao fornecimento de água para a irrigação e uma mangueira na outra torneira do dispositivo para a água seguir, de fato, para irrigação. O sensor de umidade de solo e de temperatura do solo devem ser cravados na terra para poderem realizar as medições;
- b) Ligar: O dispositivo deve ser ligado com alimentação de fonte de 12V em plug na sua face inferior;
- c) Após ligar, a chave na lateral direita do dispositivo determinará se está no modo automático ou de aprendizado;
- d) Inicialmente, enquanto não forem completadas as 20 coletas, deve ser colocado o modo de aprendizado;

- e) Uma vez colocado no modo de aprendizado, logo antes de o cultivador irrigar, deve-se iniciar o aprendizado, para isso, é necessário clicar no botão verde, e então o LED verde acenderá. Esperar receber a mensagem “inicie a irrigação” para começar a irrigar;
- f) Ao finalizar a irrigação, deve-se clicar no botão vermelho, acendendo o LED vermelho. Não é necessário clicar novamente no botão verde ainda. O LED verde deve permanecer aceso por enquanto;
- g) Após receber a mensagem do dispositivo “clique em ambos os botões para registrar”, deve-se clicar no botão vermelho e botão verde (ambos os LED's se apagarão);
- h) Até serem realizadas as 20 coletas de dados, o dispositivo não poderá atuar no modo automático. Sempre exigindo mais aprendizados para poder realizar a regressão linear e encontrar a fórmula de correlação;
- i) Após realizar o ciclo de aprendizado 20 vezes, a regressão linear é executada automaticamente pelo Atmega e a fórmula é gerada. Só então o modo automático pode ser reproduzido;
- j) Ao colocar a chave na posição do modo automático, o dispositivo lê os sensores e utiliza as medidas como dados de entrada na fórmula gerada pela regressão linear e estima a quantidade de água que deve ser usada. Deve-se conectar um fornecimento de água ininterrupto ao dispositivo para que ele possa controlar o fluxo hídrico. A irrigação é iniciada através da abertura da válvula pelo próprio dispositivo. Quando o medidor de fluxo de água indicar que o volume estimado foi atingido, a válvula é fechada;
- k) A próxima irrigação ocorrerá automaticamente no mesmo horário do dia seguinte (horário em que foi ativado o modo automático). Não há mais necessidade de manuseio ou interferência humana.

4.4.2 Detalhes:

- a) A periodicidade de irrigação é de 24h (uma vez por dia);
- b) Toma-se como premissa que o cultivador sabe a quantidade de água adequada para se utilizar na irrigação em cada uma das 20 coletas. Caso não seja o caso, recomenda-se buscar entendedor ou profissional para treinar o dispositivo;
- c) O dispositivo não pode ser desligado para não perder os dados coletados nem a fórmula de regressão. Para contornar essa limitação, propõe-se armazenamento desses elementos em memória flash do arduino em trabalhos futuros;
- d) O dispositivo não realiza o bombeamento de água. Apenas controla uma válvula. Assim, deve ser conectado a uma tubulação que forneça água continuamente a ele para que possa realizar o devido controle do fluxo.

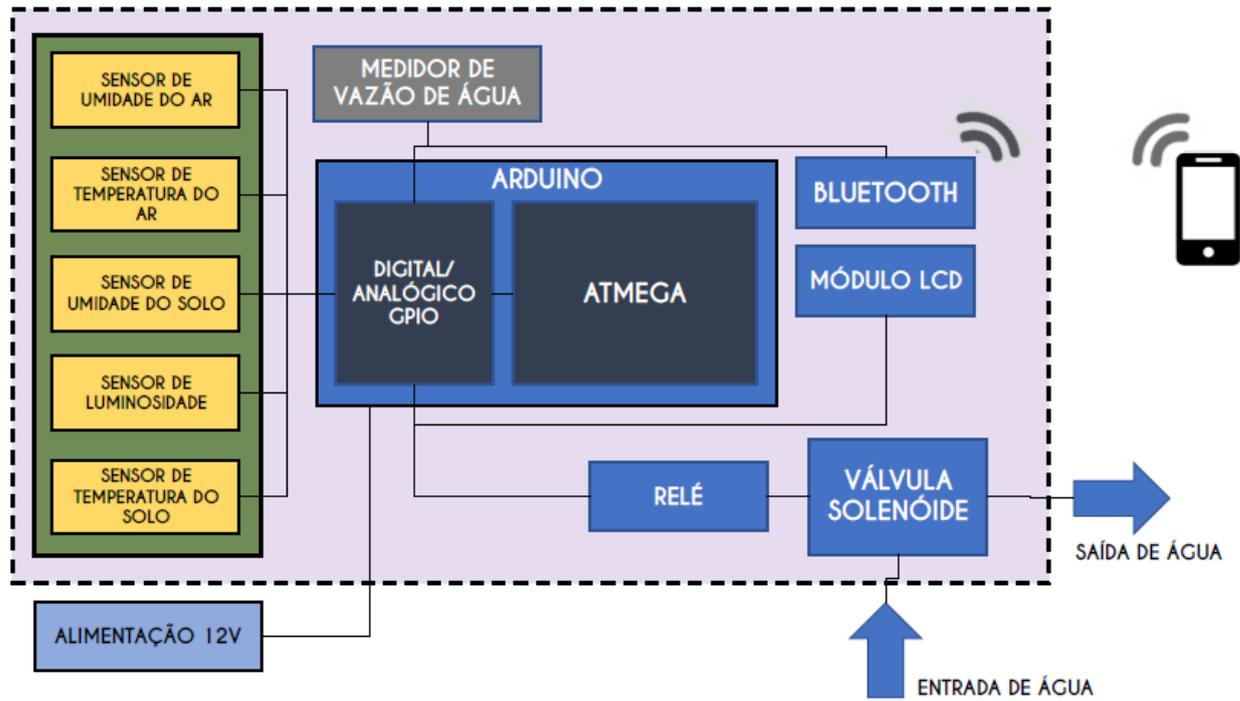
Figura 18 - Diagrama de componentes e conexões do dispositivo



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

1. Placa Arduino Mega 2560
2. Módulo Relê
3. Módulo Bluetooth HC-06
4. Monitor LCD 16X2
5. Sensor de umidade do solo
6. Sensor de temperatura do solo DS18B20
7. Módulo de comunicação serial I2C
8. Sensor de umidade e temperatura do ar DHT22
9. Sensor de luminosidade LDR
10. Medidor de vazão
11. Válvula Solenoide

Figura 19 - Arquitetura de Hardware do sistema



Fonte: Elaborada pelo próprio autor

4.5 RESULTADOS

A avaliação do dispositivo foi feita da seguinte maneira: foi criada uma matriz com 20 coletas (valor escolhido arbitrariamente para o número de coletas) de valores assumidos arbitrariamente para simular as variáveis de entrada, com base em medições feitas pelos sensores, para permitir a execução da regressão linear com 20 relações entre as entradas e saídas. O objetivo era a validação da operação do dispositivo, portanto, os valores seguintes foram tomados:

Tabela 2 – Matriz de Resultados

Volume de água (L)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura do solo (°C)	Umidade do ar (%)	Umidade do solo (%)	Luminosidade (%)
875	30	34	0,7	0,5	0,61
1224	43	37	0,82	0,8	0,82
915	40	35	0,6	0,62	0,72
883	37	34	0,52	0,5	0,68
879	34	30	0,45	0,37	0,69
1032	36	35	0,87	0,78	0,7
1004	30	33	0,64	0,66	0,65
1050	32	33	0,54	0,62	0,6
864	27	30	0,64	0,59	0,67
840	33	27	0,45	0,49	0,66
978	34	29	0,6	0,7	0,65
983	37	28	0,74	0,7	0,6
896	35	30	0,64	0,62	0,71
974	40	35	0,58	0,6	0,84
940	42	36	0,45	0,55	0,8
1064	35	35	0,72	0,74	0,78
1000	38	35	0,61	0,57	0,92
937	34	32	0,57	0,62	0,84
967	30	30	0,84	0,77	0,74
982	36	33	0,63	0,59	0,69

Fonte: o autor (2019)

O programa do Atmega arduino encontrou a combinação linear que correlaciona as variáveis do ambiente à quantidade de água necessária para a irrigação de tal forma:

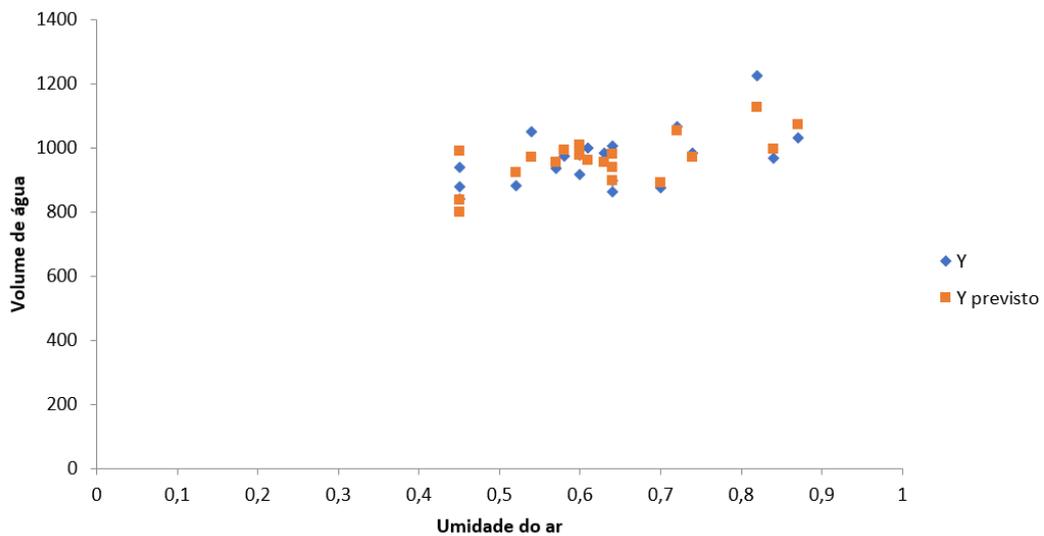
$$\text{Volume} = 225,7426 + 3,239532.T_{\text{ar}} + 10,29448.T_{\text{solo}} - 69,2101.U_{\text{ar}} + 593,512.U_{\text{solo}} - 47,8652.L$$

Tendo T_{ar} , T_{solo} , U_{ar} , U_{solo} , L como dados de entrada (temperatura do ar, temperatura do solo, umidade do ar, umidade do solo e luminosidade,

respectivamente), os valores em negrito são os coeficientes de correlação associados a cada uma das variáveis, que são combinados linearmente com os parâmetros para determinar o Volume de água que deverá ser utilizado na irrigação.

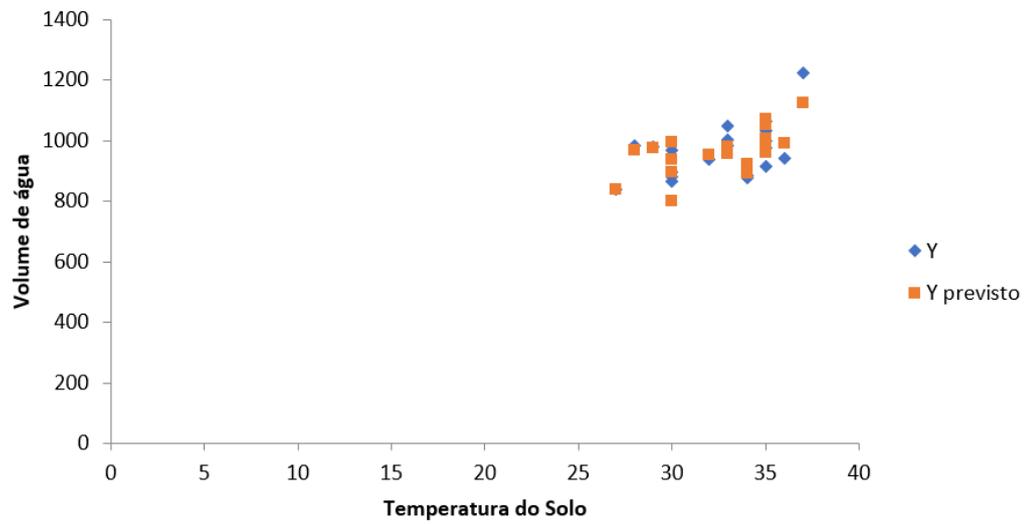
Para efeito comparativo e de validação do modelo, a mesma matriz foi utilizada pelo software Excel para realizar a regressão linear. Os coeficientes obtidos pelo software foram compatíveis com as saídas do dispositivo, assim, verificando sua acurácia e a capacidade do dispositivo em realizar a correlação entre as entradas e a saída. Abaixo podem ser analisados os gráficos comparativos entre a saída (volume de água) e cada uma das variáveis de entrada para cada uma das linhas da matriz, permitindo uma visualização melhor do contraste entre o comportamento previsto e o comportamento exibido.

Figura 20 - Relação entre Volume de água e umidade do ar



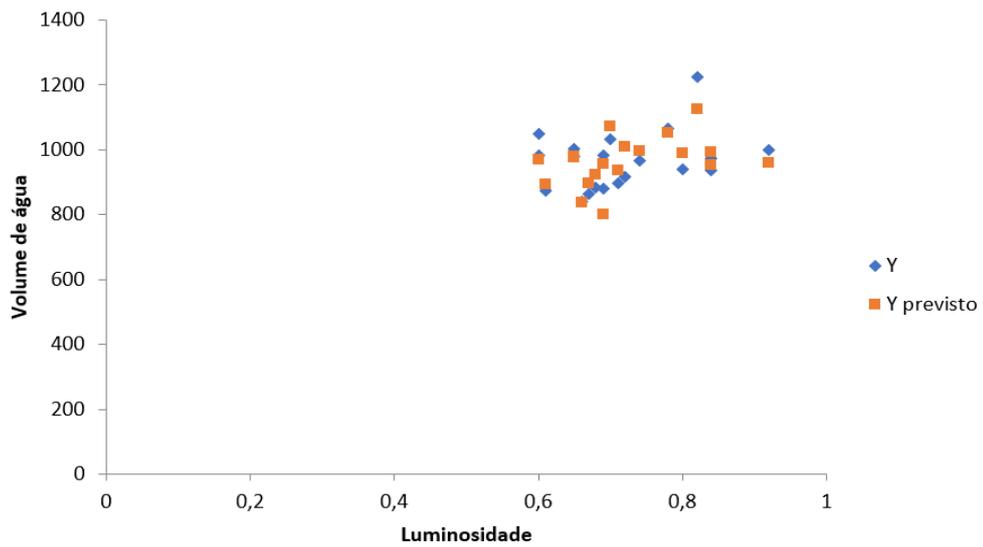
Fonte: o autor (2019)

Figura 21 - Relação entre Volume de água e temperatura do solo



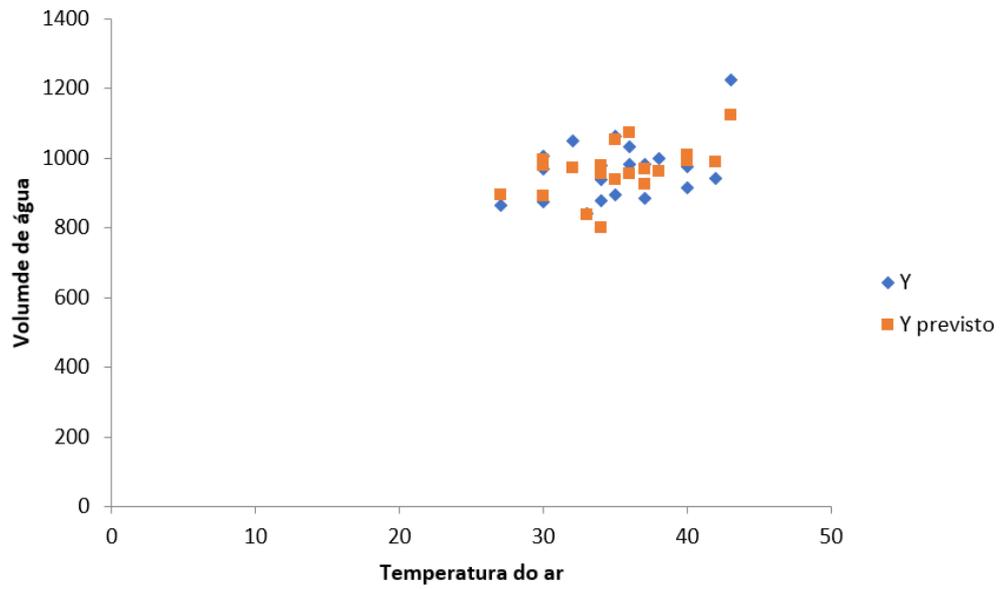
Fonte: o autor (2019)

Figura 22 - Relação entre o Volume de água e a Luminosidade



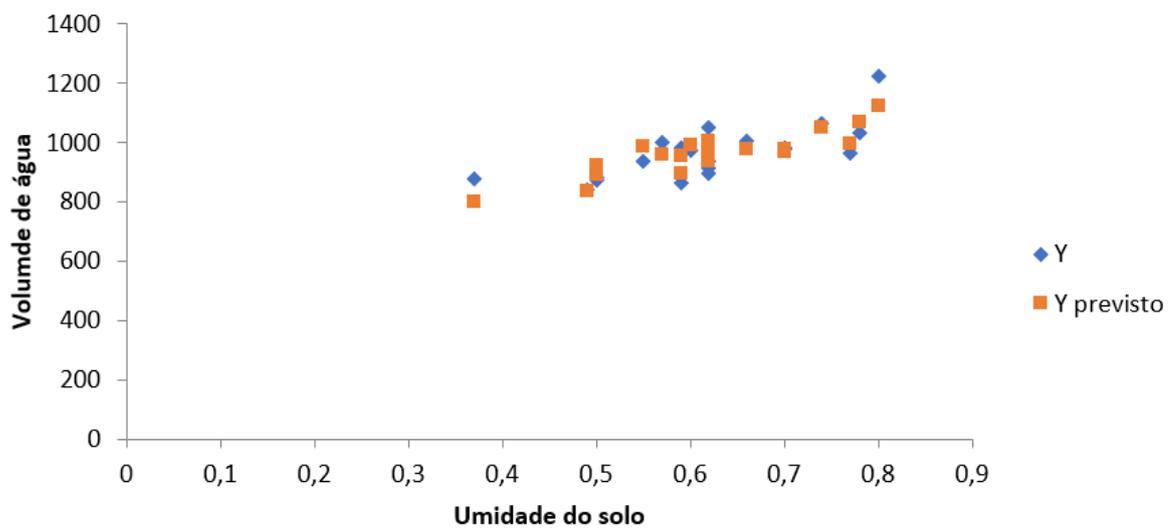
Fonte: o autor (2019)

Figura 23 - Relação entre o volume de água e a temperatura do ar



Fonte: o autor (2019)

Figura 24 - Relação entre Volume de água e Umidade do solo



Fonte: o autor (2019)

4.6. DIFICULDADES E LIÇÕES APRENDIDAS

Durante o desenvolvimento do sistema de monitoramento e controle de irrigação para agricultura familiar com o Atmega, foram vivenciadas algumas experiências que proporcionaram aprendizado válido de ser repassado para evitar erros futuros e otimizar a reprodução de um dispositivo similar ou mais avançado.

4.6.1. Lições Aprendidas

- a) Ao implementar um novo componente ao programa do arduino, geralmente sua utilização é acompanhada de uma biblioteca. Esta biblioteca;
- b) Sempre verificar o funcionamento dos componentes após cada etapa da montagem para garantir que todas as conexões estejam corretas;
- c) Usar a resistência de 4,7kOhm para o sensor DS18B20. O uso de diferentes valores de resistência implica no não reconhecimento do sensor por parte do arduino;
- d) Polímero termo retrátil mostra-se como uma solução interessante para garantir a organização da fiação, impedir contatos indesejados entre conexões expostas e garantir maior rigidez de sustentação a cada componente;
- e) Colocar pequenos encaixes, saliências e reentrâncias, como quebra-cabeças, em cada aresta de cada face do dispositivo auxilia muito na sua montagem;
- f) O corte a Laser é uma solução muito interessante, rápida, de baixo custo e precisa, caso possa ser realizada no material que seja utilizado para a construção do dispositivo. Para a chapa de 3 mm de PVC expandido mostrou-se ideal.

4.6.2. Dificuldades

- a) O arduino Nano foi utilizado desde o começo do desenvolvimento, mas durante a montagem e soldagem, a placa queimou. Por conta disso, foi utilizado o Arduino Mega. A causa não foi verificada, mas talvez a quantidade de componentes utilizada tenha exigido mais corrente do

que a placa poderia suportar. Isso deve ser verificado antes de realizar um projeto similar;

- b) Deve-se uma placa de circuito impresso de fibra de vidro, por ser mais resistente à umidade, mas nas dimensões já adequadas, pois caso seja maior que o necessário, cortá-la adequadamente é uma grande dificuldade, pois possui três camadas e uma delas é de fibra de vidro, que possui uma dureza elevada. Em outras palavras: muito difícil de cortar;
- c) Ao buscar desenvolver o código no arduino, quando estiver diante de um problema procedimental, comumente vivenciado ou algum cálculo matemático padrão, por mais complexo que seja, deve-se pesquisar pela existência de bibliotecas que possam realizá-lo. No início do desenvolvimento do código, todas as operações matriciais foram realizadas linha a linha, com autoria própria. Mas as operações eram demasiadamente complexas, exigindo centenas de ciclos de *loops* em curto espaço de tempo e estendendo o tamanho do programa. Ao encontrar a biblioteca MatrixMath.h para o arduino, uma parte do programa, que equivalia a cerca de 200 linhas de código, foi reduzida apenas a 6 linhas com comandos muito simples;
- d) Antes de utilizar o sensor DHT22, foi usado o DHT11, de menor precisão e menor custo. Houve grande dificuldade na realização de uma leitura adequada por parte do sensor, apesar de terem sido testadas diversas bibliotecas, atualizado os *drivers* do arduino, excluído a interface de desenvolvimento e qualquer traço de arduino do computador e então reinstalado, como soluções que eram propostas na internet por aqueles que estavam tendo o mesmo problema, o sensor continuava apenas informando “nan”, que significa que o valor retornado não é numérico (do inglês, *not a number*). A única solução que se mostrou eficaz foi a substituição do sensor pelo modelo DHT22, que funcionou perfeitamente.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi criado um dispositivo controlador de irrigação com o intuito de ser aplicado à agricultura familiar para garantir uma performance de rega adaptável às diferentes condições do ambiente de maneira automática. O protótipo é capaz de determinar e controlar a quantidade de água que deve ser utilizada no processo de irrigação da plantação. Para isso, correlaciona os parâmetros do meio com o volume hídrico utilizado pelo cultivador, entendendo o comportamento dele diante de cada fator ambiental, para então prevê-lo e replicá-lo em diferentes condições.

O meio é entendido pelo dispositivo como um sistema de 5 variáveis (escolhidas por seu grau de relevância para a demanda líquida da planta): temperatura do ar, temperatura do solo, umidade do ar, umidade do solo e luminosidade no ambiente. O sistema atua com um objetivo preditivo, estimando o volume hídrico que deve ser usado na rega a partir das leituras sensoriais e controlando a aguagem a partir de válvulas solenoide.

A correlação entre as variáveis ambientais e a saída de água foi realizada através do método de regressão linear múltipla, em que a partir de 20 conjuntos de dados de entrada, a regressão é estabelecida, criando uma função expressada por uma combinação linear que calcula a saída a partir de novos valores de entrada.

Para sua construção, foi utilizada a plataforma Arduino, do modelo Mega 2560, com programação em C++, sensores para medição de cada uma das variáveis de leitura do ambiente e válvula de fluxo água para controlar a saída hídrica.

Foi verificada a leitura das variáveis de entrada pelos sensores para garantir a alimentação do conjunto de dados de entrada a partir do qual é feita a realização da regressão linear, e então simulados valores de entrada para verificar a capacidade do dispositivo em determinar apropriadamente a função que vincula as entradas às saídas do sistema. Os resultados obtidos foram comparados com uma regressão linear múltipla realizada no software Excel a partir da mesma matriz de entrada. Os valores recebidos do Arduino foram compatíveis com os simulados no Excel, verificando a assertividade do dispositivo e sua capacidade em estabelecer a relação esperada. As respostas foram analisadas graficamente, comparando o comportamento preditivo da fórmula gerada em relação aos valores reais da matriz.

Sabendo da importância da melhoria contínua do uso da água no contexto agrícola, principalmente na área da agricultura familiar, tendo em vista suas limitações econômicas e problemática social, propõe-se que trabalhos futuros agreguem:

- a) Análise de diferentes tipos de irrigação para identificar o método mais adequado para o ambiente em questão, tomando como base uma parametrização do desenvolvimento da planta;
- b) Utilização dos dados captados para identificação de comportamento cíclico do ambiente, permitindo alternar entre diferentes fórmulas de regressão linear automaticamente para atender a essas variações;
- c) Registro online do histórico de dados coletados para permitir que o cultivador analise comparativamente o desempenho da irrigação e as condições do ambiente com o tempo;
- d) Metrificação do desenvolvimento da planta e estabelecimento de correlação entre seu crescimento e a irrigação em si, tanto em volume quanto em método de aguagem;
- e) Alimentação que confira maior autonomia ao dispositivo, como alimentação por energia solar;
- f) Desenvolver mais a forma de comunicação do dispositivo através do uso de rádio frequência (ex: LoRa), com receptor que possa fazer o intermédio na comunicação com a internet, celular, aplicativos etc.;
- g) Realização e armazenamento de mais de uma regressão linear, conferindo maior versatilidade de irrigação ao dispositivo;
- h) Armazenamento de dados em memória flash ou EEPROM do arduino para permitir que o dispositivo ligue e desligue sem comprometer o aprendizado já feito.

REFERÊNCIAS

AKYILDIZ, I.F., KASIMOGLU, I.H., 2004. Wireless sensor and actor networks: research challenges. **Ad Hoc Netw.** v.2, n.4, p. 351–367.

ANA. Agência Nacional de Águas. Quase metade da água usada na agricultura é desperdiçada. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/quase-metade-da-a-gua-usada-na-agricultura-a-c.2019-03-15.2354987174>> Acesso em: 15 maio 2019.

BOYES, Hugh. HALLAQ, Bil. CUNNINGHAM, Joe. WATSON, Tim. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. **Computers in Industry** n.101 (2018), p.1–12. ELSEVIER. 05 jun. 2018.

BUSKE, Taise Cristine et al. **Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento.** Universidade Federal de Santa Maria. 2014.

CAPELLI, N.L. **Agricultura de precisão** - Novas tecnologias para o processo produtivo. LIE/DMAQAG/ FEAGRI/UNICAMP, 1999. Disponível em: <<http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/capelli.doc>> Acesso em: 15 abr. 2019.

CHAVIER, L. F. **Programação para Arduino - Primeiros Passos.** Circuitar.com.br. Disponível em: <<https://www.circuitar.com.br/tutoriais/programacao-para-arduino-primeiros-passos/>> Acesso em: 25 abr. 2019.

CHECHETTO, Rodolfo G. GANDOLFO, Marcos A. SCACALOSSI, Diego. DMOINGUES, Bensi. Influência da temperatura superficial e umidade do solo em depósitos nas aplicações de agrotóxicos. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v.17, n.2. p.40-46. dez. 2010

CLARKSON, D. T., Hopper, M. J. & Jones, L. H. P. The effect of root temperature on the uptake of nitrogen and the relative size of the root system in *Lolium perenne*. I. Solutions containing both NH₄⁺ and NO₃⁻. **Plant Cell and Environment** v.9, n.7, p. 535 – 545. Abr. 2006.

CLOUGH, J.M.; TERRI, J.A.; ALBERTE, R.S. 1980. Photosynthetic adaptation of *Solanum dulcamara* L. to sun and shade environments. III. Characterization og genotypes with differing photosynthetic performance. **Oecologia**, v.44, p.221-225.

COELHO, M.E.H. Freitas, F.C.L. Cunha, J.L.X.L. Silva, K.S. Grangeiro, L.C. Oliveira, J.B. Coberturas do solo sobre a amplitude térmica e a produtividade de pimentão. **Planta daninha.** v.31, n.2, Viçosa. Jun. 2013.

COUTINHO, L. M. & Schrage, C. A. F. 1970. Sobre o efeito da temperatura na ocorrência de fixação noturna de CO₂ em Orquideas e Bromelias. Anais da Academia Brasileira de Ciências. **Anais:** ____ v. 42, n. 4, p. 843-849, 1970.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.

FERREIRA, Adriana S. SOUZA, Alexandre. FARIAS, Fabricio C. ANDRADE, Francisco L. N. CARVALHO, Livia T. S. ROCHA, Raiana P. **Influência climática nas culturas agrícolas**. 2014. TCC (Graduação em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia, 2014.

FERNANDES, Douglas G. PREUSS, Evandro. SILVA, Teresinha L. **Sistema Automatizado de Controle de Estufas para Cultivo de Hortaliças**. UFSM. Departamento de Tecnologia da Informação. 11 dez. 2017.

FERREIRA, VALBER MENDES. **Irrigação e drenagem**. Floriano, PI: EDUFPI, 2011.

FILHO, R. S. CUNHA, J. P. A. R. Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil. **Revista Engenharia Agrícola**. v.35, n.4, p.689-698, jul./ago. 2015.

FREITAS DIAS, R. R. **Internet das coisas sem mistérios**: uma nova inteligência para os negócios. São Paulo: Netpress Books, 2016.

GUTIÉRREZ, J., VILLA-MEDINA, J.F., NIETO-GARIBAY, A., ÁNGEL PORTA-GÁNDARA, M., 2014. Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module. **IEEE Trans. Instrum. Meas.** v.63, n.1, p.166–176. Dez. 2013.

HOLT, J.S. 1995. Plant response to light: a potencial tool for weed management. **Weed Science**, v.43, p.474-482.

IBGE. Agência Nacional de Notícias. **Brasil consome 6 litros de água para cada 1R\$ produzido pela economia**. 16 mar. 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/20465-brasil-consome-6-litros-de-agua-para-cada-r-1-produzido-pela-economia>> Acesso em: 05 mai. 2019.

IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements **Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)**, Institute of Electrical and Electronics Engineers Std. 2006.

LACERDA, Claudivan F. **Relações solo-água-planta em ambientes naturais e agrícolas do nordeste brasileiro**. UFRPE. Departamento de Engenharia Agrícola. Dez. 2017.

- LIMA, Juliana D. Silva, Breno M. S. MORAES, Wilson S. DANTAS, Vania A. V. ALMEIDA, Cilene C. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Acta Amaz.** v.38, n.1, Manaus 2008.
- LINS, Bernardo F. E. A evolução da internet uma perspectiva histórica. **Cadernos Aslegis.** v.17, n.48, p.11-45. Brasília.
- MANCINI, Monica. **Internet das Coisas: História, Conceitos, Aplicações e Desafios.** Laboratorio de Pesquisas em TV Digital. Universidade Presbiteriana Mackenzie. 29 jun. 2018.
- MOLLO, Luciana. **Efeito da temperatura no crescimento, no conteúdo e na composição de carboidratos não-estruturais de plantas de *Alcantarea imperialis* (Carrière) Harms (Bromeliaceae) cultivadas in vitro.** Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo. 2009.
- MORAES, Eduardo G. GAMA, Carlos E. F. PRUDENTE, Wello W. **Implantação da iot na agricultura de precisão para eficiência hídrica na irrigação.** 17. Congresso Nacional de Iniciação Científica. 2017.
- MUXITO, Ezequiel. SAMBONGO, Ernesto. IoT na Agricultura – **Automação de Pivôs e Canais de Irrigação com Arduino e Webservice.** III Congresso internacional Adventista de Tecnologia (CIAT). 14 set. 2018.
- OJHA, Tamoghna. MISRA, Sudip. RAGHUWANSHI, Narendra S. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. **Computers and Eletronics in Agriculture.** v.118, p.66-84. Out. 2015.
- Perez, P., Morcuende, R., Molino, I. M., Puente, L. S. & Martinez-Carrasco, R. Contrasting responses of photosynthesis and carbon metabolism to low temperatures in tall fescue and clovers. **Physiologia Plantarum.** v.112, p.478-486. Ago. 2001
- PESSOA, Claudio R. M. JAMIL, George L. A internet das coisas: será a internet do futuro ou está prestes a se tornar a realidade do presente? **Engenharias online.** v.1, n.1 (2015).
- RIBAS, Giovana G. STRECK, Nereu A. SILVA, Stefania D. ROCHA, Thiago S. M. LANGNER, Josana A. Temperatura do solo afetada pela irrigação e por diferentes coberturas. **Eng. Agríc.** v.35, n.5, set./out. 2015
- SAHA, R., RAGHUWANSHI, N.S., UPADHYAYA, S.K., WALLENDER, W.W., SLAUGHTER, D.C. Water sensors with cellular system eliminate tail water drainage in alfalfa irrigation. **Calif. Agric.** v.65, n.4, p.202–207. Set. 2011.

Scalon, S.P.Q.; Mussury, R.M.; Rigoni, M.R.; Scalon Filho, H. 2003. Crescimento inicial de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob condição de sombreamento. **Revista Árvore**, v.27, n.6, p.753-758. 2003.

SEIDLER, Eluane P. FRITZ, Luiz F. F. **A evolução da agricultura e o impacto gerado pelos processos de inovação: um estudo de caso no município de coxilha-rs**. Universidade Federal de Santa Maria. 1 mar. 2016.

SILVA, A.R., VURAN, M.C., 2010. Communication with aboveground devices in wireless underground sensor networks: an empirical study. **Proceedings of IEEE International Conference on Communications**, Cape Town, South Africa, p.1–6.

SITE BANG GOOD. **LCD Display Módulo Azul Backlight Para Arduino**. Disponível em: <https://pt.banggood.com/1Pc-1602-Character-LCD-Display-Module-Blue-Backlight-For-Arduino-p-978160.html?akmClientCountry=BR&&cur_warehouse=USA>. Acesso em: 8 jul. 2019.

SITE BAU DA ELETRONICA. **Sensor de Temperatura e Umidade DHT22**. Disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/sensor-de-temperatura-e-umidade-dht22.html>> Acesso em: 8 jul. 2019.

SITE BAU DA ELETRONICA. **Válvula Solenoide para água**. Disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/valvula-solenoide-para-agua-12v-dc-180-x-va-na-03.html>> Acesso em: 8 jul. 2019.

SITE FILIPE FLOP. **Kit de Comunicação com o Arduino**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/kit-comunicacao-bluetooth-com-arduino/>> Acesso em: 8 jul. 2019.

SITE FILIPE FLOP. **Módulo Relé 5V 2 canais**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-2-canais/>> Acesso em: 8 jul. 2019.

SITE FILIPE FLOP. **Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino/>> Acesso em: 8 jul. 2019.

SITE MAKERLAB ELETRONICS. **Waterproof Temperature Sensor DS18B20**. Disponível em: <<https://www.makerlab-electronics.com/product/waterproof-temperature-sensor-ds18b20/>> Acesso em 8 jul. 2019.

SITE MARINO STORE. **Sensor de Luminosidade LDR**. Disponível em: <<https://www.marinostore.com/componentes/sensor-de-luminosidade-ldr-5mm>> Acesso em: 8 jul. 2019

SITE MSS ELETRONICA. **Sensor De Fluxo Vazão De Água 1/2 YF-S201**. Disponível em: <<https://www.msseletronica.com/detalhes/sensor-de-fluxo-vazao-de>>

Agua-1-2-yf-s201-codigo-exemplo-arduino-queima-de-estoque_pid988.html> Acesso em: 8 jul. 2019.

SITE REICHELT. **ARDUINO MEGA Arduino Mega 2560, ATmega1280, USB.**

Disponível em: <<https://www.reichelt.com/de/en/arduino-mega-2560-atmega1280-usb-arduino-mega-p119696.html>> Acesso em: 8 jul. 2019.

SITE TECNOTRONICS. **Arduino Display LCD 16X2.** Disponível em:

<<https://www.tecnotronics.com.br/display-lcd-16x2-i2c.html>> Acesso em: 8 jul. 2019.

SITE VIDA DE SILÍCIO. **Sensor de Umidade do Solo - Higrômetro.** Disponível em:

<<https://www.vidadesilicio.com.br/sensor-umidade-solo-higrometro>> Acesso em: 8 jul. 2019.

SOUZA, A. R. (ET AL.). **A placa Arduino:** uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33. n. 1, 1702. ed. Local: Editora, 2011.

TEIXEIRA, Wilson. FAIRCHILD, Thomas Rich. TOLEDO, M. Cristina Motta de. TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra.** 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

TONGKE, Fan. Smart Agriculture Based on Cloud Computing and IOT. **Journal of Convergence Information Technology (JCIT)**. v.8, n.2, Jan 2013.

TSCHIEDEL, M. FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.159-163, 2002.

ZAMBARDA, Pedro. **'Internet das Coisas': entenda o conceito e o que muda com a tecnologia.** Disponível

em: <<http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/08/internet-das-coisas-entendao-conceito-e-o-que-muda-com-tecnologia.html>> . Acesso em: 17 de abr. de 2019.