



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LUCAS ROCHA MUNIZ**

**INTERNET DAS COISAS NA AGRICULTURA MODERNA – ESTUDO DA  
INTEGRAÇÃO ENTRE AUTOMAÇÃO E SENSORIAMENTO NO CULTIVO DE  
FRUTOS NO NORDESTE BRASILEIRO**

**FORTALEZA**

**2021**

LUCAS ROCHA MUNIZ

INTERNET DAS COISAS NA AGRICULTURA MODERNA – ESTUDO DA  
INTEGRAÇÃO ENTRE AUTOMAÇÃO E SENSORIAMENTO NO CULTIVO DE  
FRUTOS NO NORDESTE BRASILEIRO

Trabalho Final apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de graduado em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Plínio de Souza Braga.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M935i Muniz, Lucas Rocha.

Internet das coisas na agricultura moderna : estudo da integração entre automação e sensoriamento no cultivo de frutos no nordeste brasileiro / Lucas Rocha Muniz. – 2021.  
48 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Arthur Plínio de Souza Braga.

1. Internet das coisas. 2. Agricultura 4.0. 3. Automação. 4. Sistemas de monitoramento. I. Título.

CDD 621.3

---

LUCAS ROCHA MUNIZ

INTERNET DAS COISAS NA AGRICULTURA MODERNA – ESTUDO DA  
INTEGRAÇÃO ENTRE AUTOMAÇÃO E SENSORIAMENTO NO CULTIVO DE  
FRUTOS NO NORDESTE BRASILEIRO

Trabalho Final apresentado ao Programa de  
Graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do título de graduado em  
Engenharia Elétrica.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Arthur Plínio de Souza Braga (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

MSc. Darielson Araújo de Souza  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

MSc. Eng. José Cleomon da Silva Junior  
3V3 TECNOLOGIA

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela vida que Ele me concedeu. Por ter me dado saúde e me rodear de pessoas tão maravilhosas, que sou grato por ter conhecido.

À minha família, principalmente à minha mãe Regina, por todo o esforço investido na minha educação e criação. Aos meus irmãos, Pedro e Josué, pela amizade e atenção dedicadas quando sempre precisei.

Sou grato ao meu orientador, professor Dr. Arthur Plínio de Souza Braga, pela sua dedicação e confiança depositada em meu trabalho.

Por último, gostaria de agradecer à família 3V3 pela oportunidade de convívio, crescimento pessoal, profissional e pela cooperação mútua durante todos estes anos. Um abraço especial ao Michel, Régis, Silvânia e Cleomon, por me manterem motivado durante todo o processo de escrita do projeto.

“A adoção de técnicas e tecnologias com maior precisão para o manejo adequado de biomas, ecossistemas, agroecossistemas e microclimas pode reduzir o impacto ambiental das atividades agrícolas de maneira significativa, com o uso das terras segundo sua aptidão agrícola, com uma aplicação eficiente dos insumos utilizados” (FLORES, 2014)

## RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso abordará a presença da Internet das Coisas nas culturas irrigadas modernas, em especial nos fruticultores localizados no Nordeste brasileiro. Serão citadas as tecnologias utilizadas na agricultura 4.0, e os benefícios propiciados por estas inovações aos produtores nacionais. Serão listadas as principais tecnologias utilizadas para sensoriamento e automação de culturas irrigadas - associando aos problemas que as mesmas solucionam. O presente trabalho trata da experiência do autor com soluções da 3V3 TECNOLOGIA instaladas em áreas de produtores rurais nacionais, e que cobrem desde o sensoriamento do solo, de variáveis ambientais e de processos produtivos, até a automação de válvulas e bombas de captação e reservatórios. Por fim, serão listados os principais benefícios propiciados pelas tecnologias de Internet das Coisas aos produtores de pequeno, médio e grande porte.

**Palavras-chave:** Internet das Coisas, Agricultura 4.0, Automação, Sistemas de Monitoramento.

## **ABSTRACT**

This work will address the presence of the Internet of Things in modern irrigated crops, especially in fruit growers located in the Northeast of Brazil. The technologies used in agriculture 4.0 will be mentioned, as well as the benefits provided by these innovations to national producers. The main technologies used for sensing and automation of irrigated crops will be listed - associating them with the problems they solve. This work deals with the author's experience with 3V3 TECNOLOGIA solutions installed in areas of national rural producers, covering from the sensing of the soil, environmental variables and production processes, to the automation of valves, water pumps and reservoirs. Finally, the main benefits provided by Internet of Things technologies to small, medium and large producers will be listed.

**Keywords:** Internet of Things, Agriculture 4.0, Automation, Monitoring Systems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Sistema de gestão à vista aplicado à agricultura 4.0 .....	15
Figura 02 – Exemplos de <i>data loggers</i> instalados em culturas de uva, banana e melão ...	16
Figura 03 – Visualização do índice NDVI da cultura através de imagens de satélite .....	17
Figura 04 – Demanda total da água no Brasil .....	20
Figura 05 – Exemplo de plataforma de gestão agrícola .....	21
Figura 06 – Exemplo de agenda com previsão de irrigação para a parcela do 1º nível .....	22
Figura 07 – Crescimento da área irrigada no Brasil .....	24
Figura 08 – Exemplo de agenda de fertirrigação para melancia .....	32
Figura 09 – Fluxograma de integração entre automação e sensoriamento .....	33
Figura 10 – Gráfico de leituras de sensor de temperatura do ar .....	34
Figura 11 – Equipamento de automação instalado cultura de melão .....	35
Figura 12 – Concentrador comunicando-se com 05 <i>data loggers</i> .....	35
Figura 13 – Agenda de irrigação de melão composta por 03 etapas .....	36
Figura 14 – Sensor de umidade do solo .....	36
Figura 15 – Métodos de controle de atuadores .....	37
Figura 16 – Gráfico de leituras de sensor de eletrocondutividade do solo .....	38
Figura 17 – Gráfico de leituras de sensor de pressão de adutora .....	39
Figura 18 – Esquema de ligação para acionamento de bombas .....	39
Figura 19 – Gráfico com a ET <sub>0</sub> (evapotranspiração de referência) diária .....	40
Figura 20 – Gráfico de leituras de vazão registrados por hidrômetro .....	41
Figura 21 – A fertirrigação realizada manualmente.....	42
Figura 22 – Pressão de irrigação da bomba .....	43
Figura 23 – Pressão de irrigação diária .....	43
Figura 24 – Benefícios da agricultura 4.0 aos produtores do Nordeste .....	44

Figura 25 – Áreas irrigadas pela automação no Nordeste..... 45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Principais métodos de irrigação utilizados no Brasil e suas respectivas eficiências .....	24
Tabela 02 – Relatório com as medições horárias dos dados climáticos coletados por estação meteorológica .....	28
Tabela 03 – Compatibilidade entre fertilizantes .....	31

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ET0	Evapotranspiração de referência
hA	Hectare
I2C	Inter-Integrated Circuit
SDI-12	Serial Digital Interface at 1200 baud
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
ANA	Agência Nacional de Águas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
DIR	Dispositivo Inteligente à Rádio
IdC	Internet das Coisas
min	Minuto
mm	Milímetro
IoT	Internet of Things

## LISTA DE SÍMBOLOS

m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
%	Porcentagem
s	Segundo
L	Litro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1</b>	<b>Motivação</b> .....	15
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	17
<b>1.3</b>	<b>Metodologia</b> .....	18
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do Texto</b> .....	18
<b>2</b>	<b>AUTOMAÇÃO E SENSORIAMENTO NA AGRICULTURA</b> .....	20
<b>2.1</b>	<b>Desafios da Agricultura Moderna</b> .....	23
<b>2.2</b>	<b>Tecnologias de Sensoriamento</b> .....	24
<i>2.2.1</i>	<i>Captação de água e reservatórios</i> .....	26
<i>2.2.2</i>	<i>Acionamento de bombas</i> .....	26
<i>2.2.3</i>	<i>Estação meteorológica</i> .....	27
<i>2.2.4</i>	<i>Manejo da irrigação e fertirrigação</i> .....	28
<i>2.2.5</i>	<i>Interfaces de sensores</i> .....	29
<b>2.3</b>	<b>Tecnologias de Automação</b> .....	29
<i>2.3.1</i>	<i>Automação nos fruticultores do Nordeste</i> .....	29
<i>2.3.1.1</i>	<i>Automação de irrigação</i> .....	30
<i>2.3.1.2</i>	<i>Automação de fertirrigação</i> .....	30
<b>2.4</b>	<b>Comentários Parciais</b> .....	32
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	33
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	40
<b>4.1</b>	<b>Economia de Água</b> .....	40
<b>4.2</b>	<b>Economia de Nutrientes</b> .....	40
<b>4.3</b>	<b>Otimização de Mão de Obra</b> .....	41
<b>4.4</b>	<b>Economia de Energia</b> .....	41
<b>4.5</b>	<b>Aumento na Produtividade</b> .....	43
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	45
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	47

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao problema da escassez de água e seus impactos, a temática de irrigação de precisão aliada ao uso de novas tecnologias tem sido objeto de estudo na aliança da tecnologia de medição e monitoramento do solo, com o intuito de controlar a quantidade de água fornecida ao plantio e evitar o desperdício do recurso.

A utilização de dados e informações está revolucionando as indústrias, as relações humanas e a agricultura. O produtor rural, que sempre tomou decisões baseando-se na tradição, experiência e intuição, agora passou a utilizar informações precisas e em tempo real para otimizar processos produtivos. Tecnologias como drone, sensoriamento remoto via satélite e sensores terrestres foram introduzidas no ambiente rural para coletar dados e informações que influenciam diretamente a produtividade. Tratores, máquinas agrícolas e softwares integrados geram novos impulsos ao agronegócio nacional (ROMANHUK, 2020). Estas tecnologias que coletam e processam dados para tomada de decisões no campo são comumente agrupadas sob o termo agricultura 4.0.

A agricultura 4.0 é a conexão em tempo real dos dados coletados pelas tecnologias digitais com o objetivo de otimizar a produção em todas as etapas. Ela representa a chegada da Internet das Coisas ao campo. Com essas tecnologias, será possível utilizar apenas as quantidades mínimas necessárias para de água, fertilizantes e pesticidas comumente aplicados ao campo (RIBEIRO, 2018).

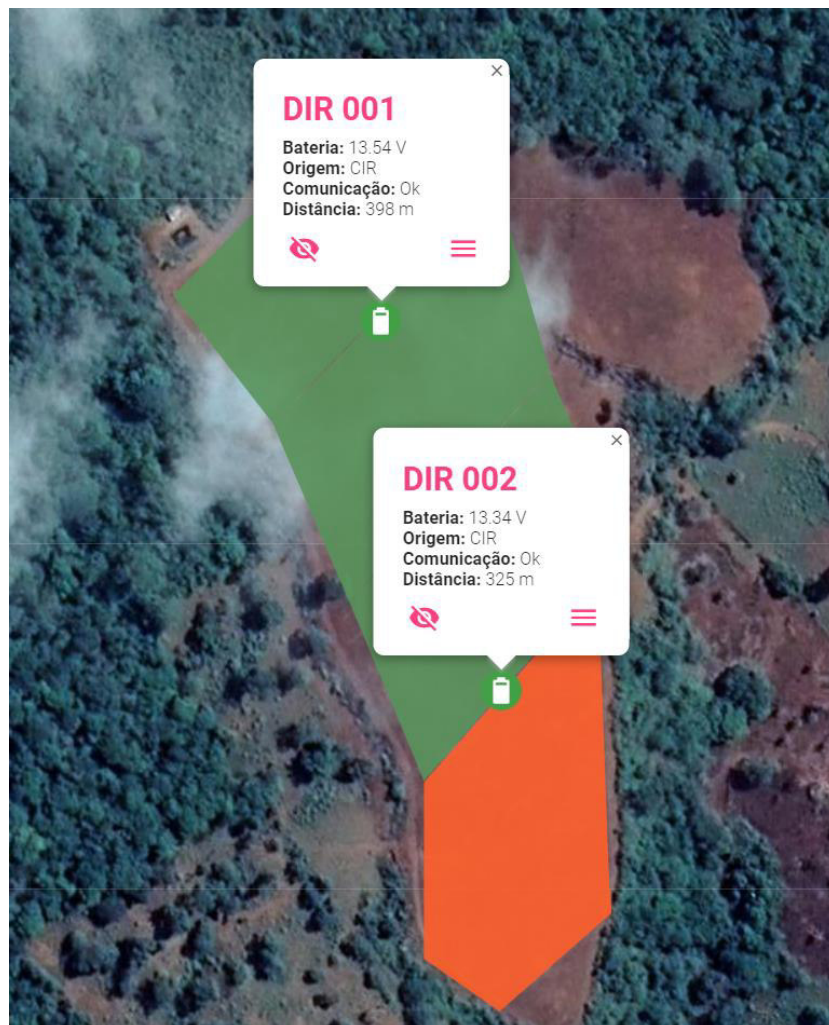
A Internet das Coisas (IdC), também conhecida pela sigla em inglês IoT (*Internet of Things*), é uma nova categoria de produtos e equipamentos interconectados que são capazes de controlar diversas atividades, monitorar sensores e gerir espaços e processos produtivos. O ecossistema da IdC envolve diversos equipamentos interconectados, como processadores, memórias, eletrodomésticos, carros, equipamentos de automação em fábricas e fazendas, sistemas de controle, coleta e processamento dos dados e comandos envolvendo objetos, todos conectados para a coleta e processamento inteligente de dados (VALENTE, 2019).

## 1.1 Motivação

Na agricultura, a Internet das Coisas se apresenta na forma de coletores de dados e leituras de sensores (*data loggers*) e de dispositivos acionadores de bombas, válvulas de irrigação, aquecedores e fogs de estufas, dentre outros dispositivos, permitindo a agricultores colher informações, analisar e tomar decisões com base em parâmetros do campo monitorados em tempo real (ZAPAROLLI, 2020).

Assim como a aplicação na indústria, a Internet das Coisas na agricultura possui redes de intercomunicação entre os equipamentos, permitindo o compartilhamento de informações e comandos entre os equipamentos. Na Figura 01, tem-se como exemplo o módulo supervisor de uma solução de gestão e controle agrícola instalada no campo, controlando e monitorando culturas de uva e maracujá.

Figura 01 – Sistema de gestão à vista aplicado à agricultura 4.0



Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020).

Devido ao tamanho das áreas cultivadas e à necessidade de se utilizar soluções remotas, novos equipamentos são desenvolvidos com painel solar e antena de comunicação via radiofrequência. A utilização de tecnologias de comunicação e carregamento sem fio possibilita a instalação de equipamentos de automação e sensoriamento nas mais variadas culturas, sejam elas de uva, banana, dentre outras, conforme exemplificado na Figura 02.

Figura 02 – Exemplos de *data loggers* instalados em culturas de uva, banana e melão



Fonte: Autoria própria.

## 1.2 Objetivos

O objetivo de todo e qualquer processo produtivo, seja no campo, na cidade ou na indústria, é produzir mais utilizando menos insumos e mão de obra. Produtores rurais, especialmente do Nordeste brasileiro onde recursos naturais como a água são escassos e de difícil acesso, estão utilizando cada vez mais tecnologias para auxiliar na otimização dos processos do campo.

Seja através de grandes máquinas colheitadeiras, automação de linhas de embalagem de frutos, sensoriamento das características físicas e químicas do solo, da qualidade da água e de variáveis climáticas, automação de válvulas, tratores e bombas e até a utilização de satélites para análise da saúde vegetativa de culturas plantadas (Figura 03), o objetivo final de tecnologia implantada no campo é reduzir o consumo de água, economizar energia, reduzir o desperdício de insumos e otimizar a mão de obra nas culturas irrigadas.

Figura 03 – Visualização do índice NDVI da cultura através de imagens de satélite



Fonte: Autoria própria

Este trabalho, no entanto, tem como objetivo geral realizar uma análise detalhada das tecnologias de Internet das Coisas na agricultura 4.0, em especial dos equipamentos instalados nos produtores do Nordeste brasileiro. São os objetivos específicos do presente trabalho:

- Detalhar as principais funcionalidades e benefícios das tecnologias de automação utilizadas no campo;
- Explorar como os produtores rurais vem utilizando tecnologias de sensoriamento para otimizar processos produtivos;
- Apresentar, em números, os principais benefícios das tecnologias de Internet das Coisas observados por produtores nordestinos.

### 1.3 Metodologia

Para este trabalho, serão levantados os principais problemas e necessidades enfrentadas pelos fruticultores nordestinos. Também serão apresentadas as tecnologias empregadas por estes fruticultores para solucionar as dificuldades e desafios impostos pela agricultura moderna.

Para exemplificar as tecnologias da agricultura 4.0, serão apresentados os equipamentos e sistemas utilizados por estes fruticultores, em especial os produtores de melão localizados no Rio Grande do Norte e produtores de uva no Vale do São Francisco, no Pernambuco. O trabalho também demonstrará como os dados coletados e analisados pelos sistemas de gestão agrícola auxiliam seus operadores na redução do consumo de água, energia e insumo nas culturas irrigadas.

### 1.4 Estrutura do Texto

O presente trabalho está estruturado em 05 capítulos:

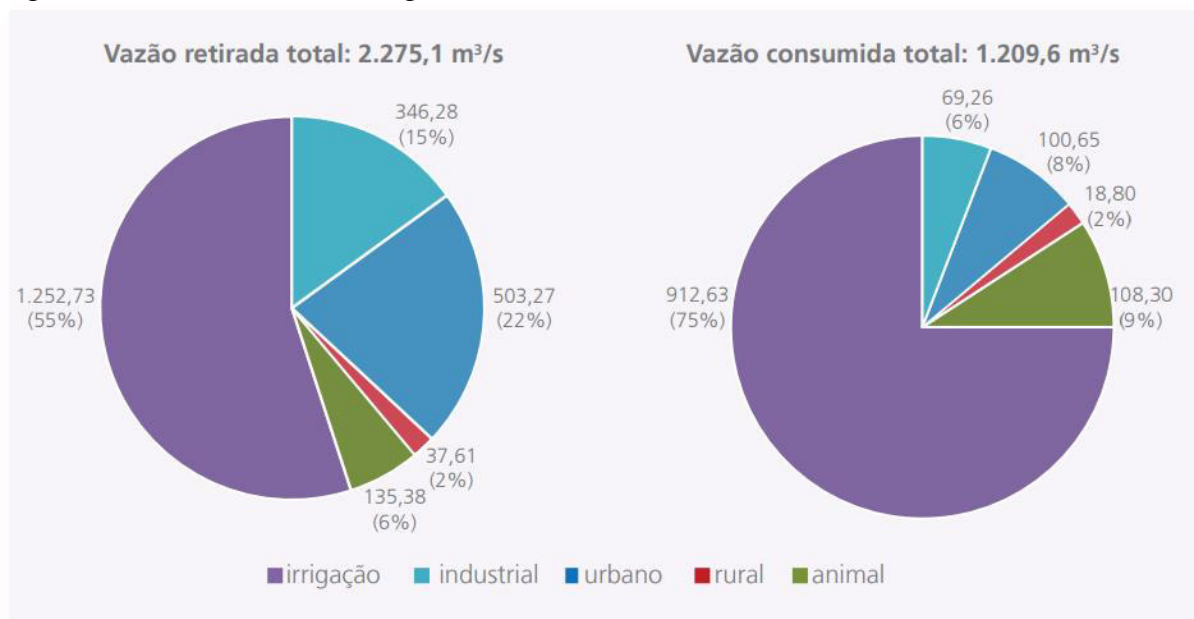
- **Capítulo 01 – Introdução:** Foram apresentados os objetivos, a motivação, a metodologia e a estrutura da monografia;
- **Capítulo 02 – Automação e sensoriamento na agricultura:** Capítulo que aborda, em detalhes, as tecnologias de automação e sensoriamento utilizadas em fruticultores do Nordeste, sendo elas utilizadas na irrigação, fertirrigação, captação e reservatórios;

- **Capítulo 03 – Estudo de caso:** São apresentados casos de uso das tecnologias 4.0 em culturas irrigadas e seus principais recursos para auxiliar os produtores rurais na gestão do campo;
- **Capítulo 04 – Resultados:** São listados os principais resultados observados pela utilização da Internet das Coisas (IdC) no campo, bem como os benefícios que a automação e o sensoriamento têm trazido aos produtores rurais;
- **Capítulo 05 – Conclusões:** Tem-se as conclusões do trabalho, como a importância da utilização das novas tecnologias para aprimorar o processo produtivo do campo.

## 2 AUTOMAÇÃO E SENSORIAMENTO NA AGRICULTURA

A irrigação é vital para a agricultura na maior parte do planeta e em praticamente todas as regiões do Brasil. No país, cerca de 75% da água consumida no país é destinada à irrigação (Figura 04), possuindo a nona maior área irrigada do mundo (ANA, 2014).

Figura 04 – Demanda total da água no Brasil



Fonte: Agência Nacional de Águas; Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil (2014, p. 13).

No entanto, estima-se que metade da água irrigada no campo seja má utilizada. Para otimizar o uso da mesma, é necessário ampliar a eficiência da irrigação através da utilização de técnicas mais eficientes em conjunto com sensores de variáveis ambientais e hidrômetros, facilitando o gerenciamento e controle da utilização de água na cultura.

Diante das problemáticas da má utilização de água, diversas tecnologias no contexto da agricultura 4.0 foram desenvolvidas para permitir o gerenciamento remoto e o registro de volume, vazão de água e diversas variáveis ambientais, além de controlar a abertura e o fechamento de válvulas, bombas e demais atuadores do campo. Produtores de pequeno, médio e grande porte tem usufruído dos benefícios da agricultura 4.0, como a redução do consumo de água, energia elétrica, otimização do uso de nutrientes e da mão de obra.

Plataformas integradas, que englobam as funcionalidades de controlar e gerenciar a vazão e o volume de água irrigada nas áreas cultivadas, acionar remotamente válvulas e bombas e acompanhar, em tempo real, a leitura de hidrômetros, sensores e estação meteorológica estão cada vez mais presentes na realidade dos produtores nacionais, em especial no Nordeste, onde recursos como água são mais escassos.

Além disso, as novas tecnologias de agricultura 4.0 possuem comunicação sem fio, garantindo que todas as soluções de automação e sensoriamento se comuniquem entre si e monitorem múltiplas áreas, conforme ilustrado na Figura 05.

Figura 05 – Exemplo de plataforma de gestão agrícola



Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020).

Sendo responsável por sensoriar variáveis ambientais e automatizar válvulas e bombas, as plataformas integradas de gestão e manejo agrícola são capazes de:

- Gerenciar válvulas de irrigação, fertirrigação e bombas de poços e reservatórios, garantindo precisão no manejo da cultura;
- Controlar a automação baseando-se no sensoriamento de campo.

As mais recentes ferramentas de manejo possuem ferramentas de predição da lâmina e do volume irrigado com base nos registros históricos de irrigação das válvulas,

permitindo analisar a eficiência da irrigação em cada parcela monitorada, conforme ilustrado na Figura 06.

Figura 06 – Exemplo de agenda com previsão de irrigação para a parcela do 1º nível. Para este exemplo, tem-se uma agenda de irrigação para 03 parcelas de melão, cada qual com sua lâmina de reposição de água

The image displays a mobile application interface for irrigation management. It is divided into three main sections for different levels (1º, 2º, 3º) and a detailed view of a selected parcel.

**1º nível**  
 1 válvula(s)  
**MELÃO 040** 2.46mm  
 Previsão: 09:00 - 10:00  
 Duração: 60 min  
 Mínimo: 0 min      Volume: 0 L  
 Avanço: 0 min      Volume médio: 119 m³

**2º nível**  
 1 válvula(s)  
**MELÃO 041** 1.71mm  
 Previsão: 10:00 - 10:45  
 Duração: 45 min  
 Mínimo: 0 min      Volume: 0 L  
 Avanço: 0 min      Volume médio: 90 m³

**3º nível**  
 1 válvula(s)  
**MELÃO 042** 1.18mm  
 Previsão: 10:45 - 11:15  
 Duração: 30 min  
 Mínimo: 0 min      Volume: 0 L  
 Avanço: 0 min      Volume médio: 59 m³

**Duração (min) \***  
 60 ✓

**Selecionadas: 1 de 252**

**Adicionar ou remover Válvulas**

**MELÃO 040** 4.48hA  
 Volume previsto: 110.40m³      Volume ideal: 119.00m³  
 Lâmina prevista: 2.46mm      Lâmina ideal: 2.66mm  
 Eficiência: 92.77%

Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020).

A seguir, serão listados os principais desafios da agricultura moderna e as tecnologias desenvolvidas e utilizadas para aumentar a produtividade do campo, sejam elas de automação ou sensoriamento.

## 2.1 Desafios da Agricultura Moderna

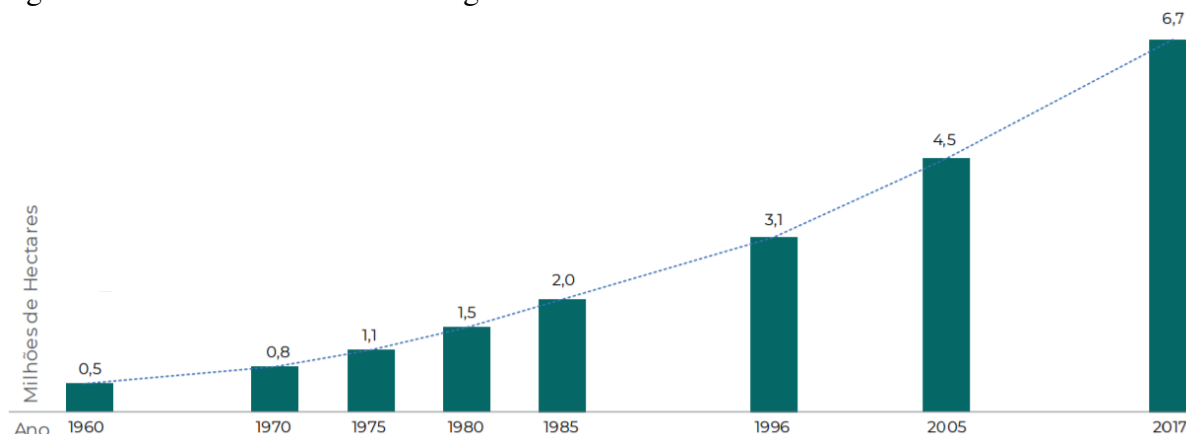
A água, essencial à existência e bem-estar do homem e à manutenção dos ecossistemas do planeta, passou a ser um recurso natural de valor econômico, estratégico e social. Embora a Terra tenha água em abundância, a porcentagem de água doce acessível é baixa. Do volume total de água existente no planeta, 97% estão nos oceanos e mares e, portanto, é inadequada para o consumo direto por ser salgada. Do restante, 2% estão armazenadas nas geleiras e apenas 1% está disponível para uso direto, armazenado em lençóis subterrâneos, lagos, rios e na atmosfera. O Brasil detém 11,6% dessa água doce superficial, sendo que 70% estão localizadas na Região Amazônica. Os 30% restantes distribuem-se desigualmente pelo país, para atender 93% da população. Apesar da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) protagonizar o desenvolvimento da agricultura e pecuária no Brasil nos últimos 40 anos, ainda existem muitos desafios e problemas relacionados ao uso eficiente da água e da energia no processo de irrigação.

Estima-se que até 2050 a produção de alimentos precisará aumentar mais de 50% para atender a demanda populacional (UNESCO, 2016), implicando na ampliação da área para cultivo e, conseqüentemente, no volume de água utilizada na irrigação. De acordo com os últimos levantamentos estatísticos, a agricultura é o setor econômico que mais consome água no mundo. Cerca de 75% da água doce disponível no Brasil é destinada à agricultura, mas aproximadamente 44% dela é desperdiçada no processo de irrigação (ANA, 2014). Por ser indispensável para a produção agrícola, o consumo consciente e inteligente da água é factível e urgente.

No contexto brasileiro, a Agência Nacional das Águas (ANA) informa que a irrigação brasileira tem crescido a taxas médias anuais entre 4,4% e 7,3% desde a década de 1960. O crescimento da área irrigada no Brasil pode ser observado no gráfico da Figura 07.

A boa prática da irrigação consiste na aplicação da quantidade de água necessária às plantas no momento certo. Por não adotar um método de controle de irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um estresse hídrico, o que pode comprometer a produção. Esse excesso tem como consequência a elevação do lençol freático, perda de nutrientes na região da raiz e desperdício de energia, utilizada em um bombeamento desnecessário.

Figura 07 – Crescimento da área irrigada no Brasil



Fonte: ANA (2021).

Diante dos problemas relatados na irrigação, como o uso ineficiente de água e energia, foram desenvolvidas tecnologias capazes de fazer o uso racional da água, podendo ser aplicadas em qualquer método de irrigação (Tabela 01), empregando energia renovável, comunicação de dados via rádio, rede de sensores e dados meteorológicos. Sistemas de irrigação modernos já são acessíveis a produtores de pequeno, médio e grande porte.

Tabela 01 – Principais métodos de irrigação utilizados no Brasil e suas respectivas eficiências

Método de irrigação	Eficiência de irrigação (%)	Uso de energia (kWh/m <sup>3</sup> )
Superfície	40 a 75	0,03 a 0,3
Aspersão	60 a 85	0,2 a 0,6
Localizada	80 a 95	0,1 a 0,4

Fonte: Marouelli, W. A. e Silva, W.L.C., 1998

Ademais, um correto uso de técnicas de irrigação inteligente é associado à maiores lucros devido à alta uniformidade de aplicação dos sistemas, menores custos de produção, aumento da qualidade da produção agrícola, diminuição da quantidade total de fertilizantes aplicada para uma mesma produção, aplicação de defensivos via água de irrigação, otimização dos recursos hídricos e energia elétrica, economia de mão de obra, economia de maquinário e baixo custo de manutenção e operação.

## 2.2 Tecnologias de Sensoriamento

A agricultura moderna, conhecida como Agricultura 4.0, exige informações rápidas, certeiras e que usem referências reais e confiáveis. Porém, nem sempre estes dados são de fácil acesso e, para isso, surgem tecnologias que transformam as propriedades do ambiente em grandezas físicas, podendo transmiti-las na forma de informações úteis para o produtor. Os equipamentos responsáveis por realizar essa interface entre o meio físico e o virtual são os sensores, dispositivos capazes de detectar e ler uma série de mudanças, que serão convertidas em dados, e rapidamente podem ser interpretados por pessoas ou computadores (DUTRA, 2018).

Com o auxílio de sensores em campo, o produtor pode coletar informações como:

- Vazão e volume de água irrigada;
- Volume e nutrientes fertirrigados;
- Umidade e condutividade elétrica do solo;
- Condutividade elétrica de poços e reservatórios;
- Período de molhamento foliar;
- Temperatura ambiente e do microclima da cultura;
- Radiação solar, umidade relativa do ar e chuva acumulada;
- Velocidade e direção do vento;
- Dentre outros.

Os dados coletados são essenciais para determinar:

- O volume de água necessário para suprir as necessidades hídricas da cultura, evitando que as plantas entrem em déficit hídrico ou que a água seja desperdiçada através do manejo incorreto da irrigação;
- A eletrocondutividade da água e do solo, evitando desperdício de nutrientes na fertirrigação e o aumento excessivo da salinidade da água de irrigação, prejudicando o desenvolvimento saudável da cultura;
- A probabilidade de incidência de pragas e doenças;
- A estimativa de produtividade.

A desuniformidade espacial dos solos agrícolas sugere o tratamento localizado para a minimização do uso de insumos, aumentando os níveis de produtividade. Os benefícios refletem-se em uma agricultura mais eficiente e o meio ambiente menos afetado pelo desequilíbrio causado pelos insumos que podem ser economizados (MOLIN, 1997).

Para garantir a precisão e o correto funcionamento das automações, os produtores rurais do Nordeste monitoram através de sensores e Internet das Coisas os principais processos produtivos do campo:

- Captação de água e reservatórios;
- Acionamento de bombas;
- Análise climática e dos parâmetros do solo;
- Manejo integrado da irrigação e fertirrigação.

### ***2.2.1 Captação de água e reservatórios***

As novas tecnologias de sensoriamento para poços e reservatórios, como sensores de níveis e de temperatura e eletrocondutividade da água permitem aos produtores rurais:

- Avaliar a qualidade da água que será aplicada na irrigação;
- Analisar o consumo energético das bombas utilizadas na captação de água;
- Acompanhar os níveis estático e dinâmico de poços;
- Acionar remotamente poços, inclusive em horários pré-determinados;
- Otimizar o acionamento de bombas conforme a necessidade observada nos sensores de nível de reservatórios;
- Acompanhar os parâmetros elétricos das bombas de poços antes, durante e depois do seu funcionamento.

### ***2.2.2 Acionamento de bombas***

Com o sensoriamento de bombas, tem-se que:

- A utilização de inversores no acionamento de bombas permite um ganho considerável na eficiência das máquinas;
- Com o controle da pressão da adutora, é possível irrigar diferentes parcelas utilizando a mesma bomba de irrigação, simplificando o manejo;
- Com pressão de atuação na adutora controlada, há um recurso adicional para proteção das tubulações;
- As bombas podem ser acionadas automaticamente, em horários agendados, de forma coordenada com as válvulas em campo e com pressões especificadas, conforme as exigências da área que será irrigada.

### ***2.2.3 Estação meteorológica***

As novas tecnologias 4.0 desenvolvidas para o agronegócio nacional auxiliam o produtor na tomada de decisões quanto à lâmina de reposição de água em diferentes áreas da fazenda baseado em aspectos climáticos e/ou umidade do solo. Estações meteorológicas atuais são capazes de registrar dados climáticos e enviá-los a sistemas que, através do cruzamento dos registros de umidade do solo obtidos por sensores instalados na fazenda e das leituras dos hidrômetros das áreas irrigadas, realizarão comparativos analíticos com a finalidade de verificar a eficácia do sistema de irrigação, emitindo alertas baseados em informações inseridas pelo usuário.

Os mesmos sistemas que registram os dados das estações meteorológicas são capazes de acionar válvulas solenoides para irrigação da área de instalação da estação, a qual estará sobre uma vegetação específica, que deve ter suas necessidades hídricas supridas.

Com os dados de evapotranspiração das culturas e de umidade do solo, o produtor pode tomar decisões mais assertivas referentes à onde, quanto e quando irrigar suas culturas.

A estação meteorológica permite que o produtor monitore em tempo real ou através de gráficos e relatórios:

- Evapotranspiração de referência;
- Temperatura do ar;
- Umidade do ar;
- Ponto de orvalho;
- Pressão atmosférica;
- Direção e velocidade do vento;
- Radiação solar;
- Pluviometria.

Com os dados coletados pela estação, é possível:

- Auxiliar o produtor na tomada de decisões para um melhor manejo de irrigação das culturas;
- Otimizar a gestão da irrigação;
- Prevenir doenças e demais pragas agrícolas;
- Aprimorar planejamentos e logística;
- Monitorar os microclimas da fazenda.

A evapotranspiração de referência, calculada automaticamente pelas estações meteorológicas mais modernas, são exibidas em forma de gráficos e relatórios gerados automaticamente, auxiliando os produtores rurais na tomada de decisões. Na Tabela 02, tem-se um exemplo de levantamento horário realizado automaticamente por estação meteorológica.

Tabela 02 – Relatório com as medições horárias dos dados climáticos coletados por estação meteorológica

DATA	HORA	TEMPERATURA (°C)		UMIDADE (%)		PTO. ORVALHO (°C)		PRESSÃO (hPa)		VENTO (m/s)		RADIAÇÃO	CHUVA	ET0	
	GMT -3	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	MÍN.	VEL. (méd)	DIR. (méd)	RAJ.	kJ/m <sup>2</sup>	mm	mm
2020-10-18	00	25.90	25.31	58.08	56.35	16.63	16.47	1008.33	1007.72	3.40	SE	4.11	6.37	0.0	0.10
2020-10-18	01	25.29	24.66	58.83	58.09	16.49	16.06	1007.80	1007.64	2.08	SSE	5.62	6.95	0.0	0.05
2020-10-18	02	24.60	24.05	60.81	59.08	16.07	16.01	1007.75	1007.52	1.92	SSE	2.52	6.37	0.0	0.04
2020-10-18	03	24.26	23.94	61.04	60.13	16.07	15.90	1007.81	1007.46	2.23	SE	3.31	6.37	0.0	0.05
2020-10-18	04	23.84	22.88	63.55	61.07	15.88	15.49	1008.39	1007.91	0.91	SE	1.93	6.37	0.0	0.01
2020-10-18	05	23.88	22.47	64.09	60.44	15.76	15.34	1008.69	1008.47	0.72	ESE	1.75	133.28	0.0	0.00
2020-10-18	06	27.39	24.28	59.45	47.43	16.12	15.22	1009.26	1008.74	1.93	SE	3.98	818.23	0.0	0.18
2020-10-18	07	29.51	27.55	46.30	40.57	14.99	14.50	1009.63	1009.32	3.84	SSE	5.11	1748.89	0.0	0.43
2020-10-18	08	30.70	29.56	40.53	37.92	14.96	14.67	1009.75	1009.61	3.43	ESE	4.71	2083.25	0.0	0.52
2020-10-18	09	31.86	30.63	40.02	36.96	15.93	14.72	1009.58	1009.43	3.04	SE	4.64	3070.12	0.0	0.69
2020-10-18	10	32.07	30.99	39.44	36.83	15.78	15.47	1009.48	1009.00	3.55	E	5.11	2830.79	0.0	0.67
2020-10-18	11	32.38	31.75	38.86	37.21	16.02	15.77	1009.05	1008.11	4.52	E	5.85	3176.16	0.0	0.76
2020-10-18	12	32.34	31.51	43.77	38.52	17.68	15.90	1008.00	1006.67	5.07	ENE	6.08	3261.35	0.0	0.76
2020-10-18	13	31.55	30.58	50.66	43.52	19.17	17.63	1006.66	1006.11	5.95	E	7.10	2550.32	0.0	0.62
2020-10-18	14	30.86	30.00	53.44	50.03	19.76	19.17	1006.13	1005.80	5.46	E	7.55	1907.09	0.0	0.48
2020-10-18	15	29.85	28.94	57.20	54.15	19.82	19.46	1006.09	1005.97	6.19	ENE	7.55	1114.35	0.0	0.34
2020-10-18	16	28.80	27.90	61.15	57.74	19.71	19.40	1006.57	1006.05	5.31	E	6.80	394.05	0.0	0.18
2020-10-18	17	27.79	27.15	63.56	60.99	19.69	19.42	1007.23	1006.58	5.36	E	6.53	24.92	0.0	0.14
2020-10-18	18	27.08	26.89	65.39	63.60	19.86	19.58	1007.80	1007.32	4.52	E	6.15	6.37	0.0	0.11
2020-10-18	19	27.11	26.91	64.63	64.25	19.82	19.63	1008.60	1007.91	5.49	E	8.47	6.37	0.0	0.13
2020-10-18	20	27.13	27.00	65.28	63.64	19.94	19.63	1009.20	1008.66	5.27	ESE	6.23	6.37	0.0	0.12
2020-10-18	21	27.07	26.71	63.87	61.82	19.30	19.10	1009.58	1009.20	5.40	ESE	7.79	6.95	0.0	0.13
2020-10-18	22	26.73	26.52	63.47	61.97	19.20	18.69	1009.58	1009.43	4.97	ESE	7.43	6.37	0.0	0.12
2020-10-18	23	26.43	26.08	63.51	61.87	18.94	18.23	1009.31	1008.48	5.30	ESE	7.73	6.37	0.0	0.13
2020-10-19	00	26.07	25.81	62.33	61.56	18.22	17.94	1008.47	1008.03	4.83	SE	7.61	6.37	0.0	0.12

Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020).

#### 2.2.4 Manejo da irrigação e fertirrigação

As novas tecnologias de sensoriamento dos processos de irrigação e fertirrigação permitem ao produtor:

- Acompanhar, em tempo real, as vazões das válvulas de irrigação e o volume aplicado em cada área de plantio;
- Controlar o volume e o tempo de aplicação de irrigação e fertirrigação em cada área da fazenda;
- Agendar o acionamento de válvulas e bombas de irrigação;
- Gerenciar a aplicação de diferentes soluções nutritivas nas áreas cultivadas durante a irrigação das mesmas;
- Economizar água, energia elétrica e fertilizantes.

### **2.2.5 Interfaces de sensores**

As interfaces mais comuns de comunicação entre sensores e coletores de dados são:

- **Analógica:** Sensores com interface analógica podem ser facilmente integrados a vários coletores de dados presentes no mercado. São de baixo custo quando comparados aos sensores com interfaces digitais. Exemplo de sensores analógicos: Sensor de umidade do solo, de temperatura ambiente, etc.;
- **I2C:** Sensores com interface I2C podem ser instalados distante do equipamento coletor de dados, pois a leitura dos mesmos não é influenciada pela queda de tensão presente ao longo do cabo. Exemplo de sensores I2C: Sensores de pressão, de nível estático ou dinâmico de poços e reservatórios, etc.;
- **SDI-12:** Sensores que, assim como os de interface I2C, podem ser instalados distante do equipamento coletor de dados. Permitem o tráfego de múltiplas medições. Exemplo de sensores SDI-12: Sensores de umidade, temperatura e condutividade elétrica do solo, etc.

## **2.3 Tecnologias de Automação**

Com o desafio de produzir mais utilizando menos recursos, produtores rurais de todo o planeta vêm utilizando técnicas de automação para otimizar a produtividade de suas culturas. Haverá uma progressiva necessidade de otimização e aperfeiçoamento do desempenho dos sistemas de produção, com melhor aproveitamento dos períodos de plantio, manejo e colheita. Análises integradas deverão apoiar a tomada de decisão e incrementar a capacidade dos produtores (EMBRAPA, 2019).

### **2.3.1 Automação nos fruticultores do Nordeste**

Fruticultores do Nordeste tem investido em automação do processo de irrigação e fertirrigação, através do controle minucioso do tempo e do volume de injeção de água e nutrientes nas culturas.

### 2.3.1.1 Automação de irrigação

A automação de irrigação engloba o controle de válvulas e bombas, sejam elas de poços ou reservatórios. A automação de válvulas permite que produtores rurais definam o tempo de atuação das mesmas, seja através do tempo de abertura da válvula em minutos e segundos, seja através do volume de água irrigada desejada. Caso sejam necessários automatizar várias válvulas para diferentes áreas de uma mesma cultura, agendas podem ser criadas definindo o tempo de atuação para cada válvula.

O acionamento de grandes cargas é realizado através da utilização de relés de interface, que permitem o acionamento bombas por *soft-starter*, sejam elas de irrigação, poços ou reservatórios.

### 2.3.1.2 Automação de fertirrigação

A fertirrigação é uma técnica de aplicação simultânea de fertilizantes e água, através de um sistema de irrigação. É uma das maneiras mais eficientes e econômicas de aplicar fertilizantes nas culturas, sendo amplamente aplicada em regiões de climas árido e semiárido. Quando os fertilizantes são aplicados em menor quantidade por vez e com maior frequência, é possível manter um teor uniforme de nutrientes no solo durante o ciclo de plantação, o que aumentará a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, a produtividade (PINTO, 2005). Dentre as principais vantagens da fertirrigação, podem ser listadas:

- Melhor aproveitamento dos equipamentos e da infraestrutura de irrigação;
- Economia de mão de obra;
- Economia de fertilizantes;
- Distribuição uniforme e localizada dos fertilizantes;
- Difundida no mundo inteiro, pode ser utilizada em regiões secas e áridas até regiões úmidas e chuvosas com intensas perdas de sais por lixiviação (SANCHES, 2013).

Para que os benefícios da fertirrigação sejam observados, é necessário que o responsável pelo processo defina e controle corretamente a dosagem dos nutrientes, o tempo de fertirrigação, a solubilidade dos fertilizantes e a compatibilidade entre os mesmos (Tabela 03).

Tabela 03 – Compatibilidade entre fertilizantes

**Compatibilidade entre os fertilizantes empregados na fertirrigação.**

Fertilizante	UR	NA	SA	NC	NK	CK	SK	FA	MS	MQ	SM	AF	AS	AN
Uréia (UR)		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de Amônio (NA)			C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de Amônio (SA)				I	C	C	SR	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de Cálcio (NC)					C	C	I	I	I	SR	I	I	I	C
Nitrato de Potássio (NK)						C	C	C	C	C	C	C	C	C
Cloreto de Potássio (CK)							SR	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de Potássio (SK)								C	SR	C	SR	C	SR	C
Fosfatos de Amônio: MAP e DAP(FA)									I	SR	I	C	C	C
Fe, Zn, Cu, Mn, Sulfato (MS)										C	C	I	C	C
Fe,Zn,Cu, Mn, Quelato (MQ)											C	SR	C	I
Sulfato de Magnésio (SM)												C	C	C
Ácido fosfórico (AF)													C	C
Ácido sulfúrico (AS)														C
Ácido nítrico (AN)														

1C = compatível; SR = solubilidade reduzida; I = incompatível.

Fonte: Villas Boas et al. (1999).

Erros na dosagem dos nutrientes e no tempo de aplicação da fertirrigação resultam no manejo incorreto do processo, podendo acarretar prejuízos na eficiência da produção da cultura. Esses erros são recorrentes em produtores cujo processo de fertirrigação é realizado manualmente, sem o auxílio de sistemas de automação.

O manejo incorreto de fertirrigação pode causar uma série de prejuízos à cultura fertirrigada. Dentre eles, pode-se citar:

- Entupimento de aspersores, tubos e gotejadores de irrigação;
- Aumento excessivo da salinidade da água de irrigação, prejudicando o desenvolvimento saudável da cultura;
- Possibilidade de contaminação do manancial sub superficial ou subterrâneo;
- Lavagem de fertilizantes por lixiviação;
- Desperdícios de nutrientes e água.

As tecnologias de automação de fertirrigação foram concebidas com o intuito de reduzir e eliminar os erros de dosagem de nutrientes e de tempo de aplicação de fertilização na fertirrigação. Soluções modernas contam com dispositivos de acionamento de atuadores e leitura de sensores, para determinar, com o auxílio de controle digital, a dosagem correta dos nutrientes e o tempo de aplicação ideal. Assim como a irrigação, os controladores de fertirrigação permitem ao produtor rural criar agendas de fertirrigação, definindo a hora e o volume de nutrientes injetados em cada área fertirrigada (Figura 08).

Figura 08 – Exemplo de agenda de fertirrigação para melancia

8º nível	
1 válvula(s)	
<b>MELANCIA 020</b>	
Previsão: 05:00 - 05:30	
Duração: 30 min	
Mínimo: 0 min	Volume: 0 L
Avanço: 0 min	

9º nível	
1 válvula(s)	
<b>MELANCIA 021</b>	
Previsão: 05:30 - 06:30	
Duração: 60 min	
Mínimo: 5 min	Volume: 0 L
Avanço: 20 min	
<input type="checkbox"/> Subníveis de fertirrigação	
<b>1º UREIA</b>	
Duração: 2 min	Volume: 36 L
<b>2º AGUA (LIMPEZA)</b>	
Duração: 2 min	Volume: 50 L
<b>3º POTASSIO</b>	
Duração: 12 min	Volume: 328 L
<b>4º AGUA (LIMPEZA)</b>	
Duração: 2 min	Volume: 50 L
<b>5º NITRATO</b>	
Duração: 2 min	Volume: 50 L
<b>6º AGUA (LIMPEZA)</b>	
Duração: 5 min	Volume: 50 L

Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020).

Atuando em conjunto com sensores de eletrocondutividade do solo, a injeção de nutrientes pode ser regulada automaticamente conforme os parâmetros registrados pelo sensor, potencializando a precisão da fertirrigação.

## 2.4 Comentários Parciais

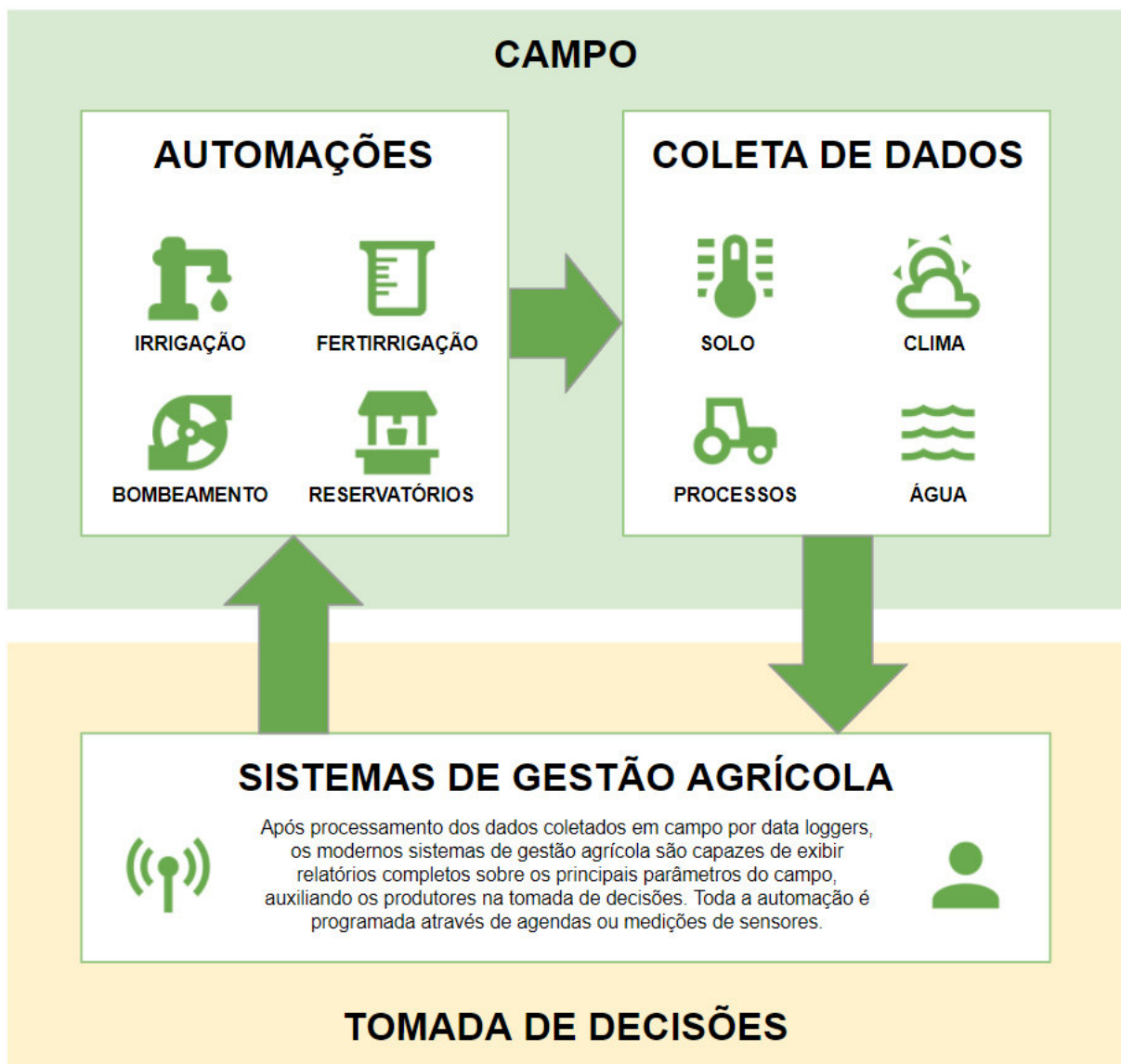
Como foi apresentado neste capítulo, o mercado fornece soluções completas para gestão e manejo agrícola. No Capítulo 03, serão apresentados os casos de uso destas soluções em produtores de frutos localizados no Nordeste brasileiro, resultando em redução no desperdício de água, energia elétrica, insumos e fertilizantes.

### 3 ESTUDO DE CASO: INTEGRAÇÃO DA AUTOMAÇÃO E SENSORIAMENTO NO CULTIVO DE FRUTOS NO NORDESTE

É comum a utilização de sensores atuando em conjunto com dispositivos de automação. A leitura de sensores, sejam eles de temperatura, umidade do ar ou do solo, dentre outros, podem guiar a automação de bombas, válvulas de irrigação e demais equipamentos para controle de processos ou ambientes.

Na Figura 09 tem-se o fluxograma descrevendo de modo simplificado como o sensoriamento pode auxiliar no manejo das culturas irrigadas e no controle das automações.

Figura 09 – Fluxograma de integração entre automação e sensoriamento

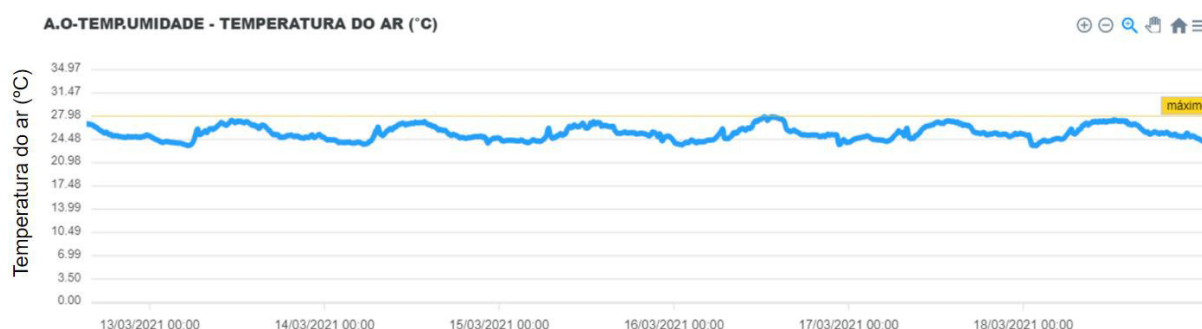


Fonte: Autoria própria.

A automação através do sensoriamento começou a ser utilizada em estufas de mudas, onde o controle do ambiente, em especial da umidade e da temperatura ambiente, deve ser rigoroso. É comum a utilização de sensores atuando em conjunto com dispositivos de automação. No caso de estufas, as leituras do sensor de temperatura e umidade ambiente regulam o acionamento de aquecedores, circuladores de ar e *fogs*:

- **Controle de temperatura:** Os sistemas de automação da estufa ligam e desligam aquecedores de ar para garantir que a temperatura do ambiente fique sempre dentro da faixa especificada. Na Figura 10 tem-se o exemplo do gráfico de temperatura de uma estufa, demonstrando que, para este caso, a temperatura da estufa opera sempre entre 24°C e 28°C;
- **Controle de umidade:** Para controle e regulação da umidade, o sistema de controle da estufa pode acionar *fogs* e circuladores de ar, mantendo a umidade da estufa sempre dentro do programado.

Figura 10 – Gráfico de leituras de sensor de temperatura do ar



Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020).

A utilização de sistemas integrados de automação e sensoriamento, antes implementados exclusivamente em estufas, estão começando a ser implantados em campo, tanto para controle da irrigação, quanto fertirrigação. Os *data loggers* que, até pouco tempo atrás apenas coletavam dados, hoje são capazes de atuar no controle de válvulas de irrigação e bombas de captação.

Na Figura 11, tem-se um exemplo de dispositivo de controle de válvulas. No caso em questão, o equipamento controla 04 válvulas de irrigação através de solenoides elétricos. Como é possível verificar na foto, o equipamento é alimentado por painel solar e comunica-se por radiofrequência, já que a presença de roedores, descargas elétricas e máquinas agrícolas inviabilizam a utilização de cabos de alimentação e comunicação no campo.

Figura 11 – Equipamento de automação instalado cultura de melão, controlando 04 válvulas



Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020).

O controle da automação é realizado pelo concentrador de dados dos sistemas, que normalmente fica localizado no escritório das fazendas, próximo ao ponto de internet. Os comandos enviados ao campo por radiofrequência partem do concentrador e para ele chegam as leituras de sensores, que resultarão em relatórios das culturas aos seus produtores. A Figura 12 demonstra um exemplo de concentrador comunicando-se, por radiofrequência, com 05 *data loggers* distribuídos em campo.

Figura 12 – Concentrador comunicando-se com 05 *data loggers*



Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2018).

Os comandos enviados ao campo, sejam eles para acionar ou desligar equipamentos e atuadores, são especificações inseridas pelos operadores dos sistemas de manejo agrícola. Estas especificações podem ser:

- **Agendas de atuação:** São programações horárias de acionamento e desligamento de atuadores do campo. Como exemplo, pode-se citar a programação de abertura e fechamento de válvulas de irrigação. A Figura 13 demonstra um exemplo de agenda de irrigação composta por três etapas de irrigação, onde a área MELÃO 040 irrigará por 60 minutos, em seguida a área MELÃO 041 irrigará por 45 minutos e por fim a área MELÃO 042 irrigará por 30 minutos;

Figura 13 – Agenda de irrigação de melão composta por 03 etapas



Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020). Com modificações do próprio autor.

- **Limites de leituras de sensores:** Assim como observado nas estufas, as automações de campo também podem ser controladas por sensores, sejam eles de umidade do solo (Figura 14), nível de reservatórios, dentre outros;

Figura 14 – Sensor de umidade do solo



Fonte: Autoria própria.

- **Acionamento remoto do operador:** De qualquer lugar e a qualquer momento, operadores dos modernos sistemas de gestão agrícola podem ligar e desligar atuadores conforme as suas necessidades. A Figura 15 apresenta um resumo dos métodos de controle de atuadores em campo através dos concentradores de dados.

Figura 15 – Métodos de controle de atuadores



Fonte: Autoria própria.

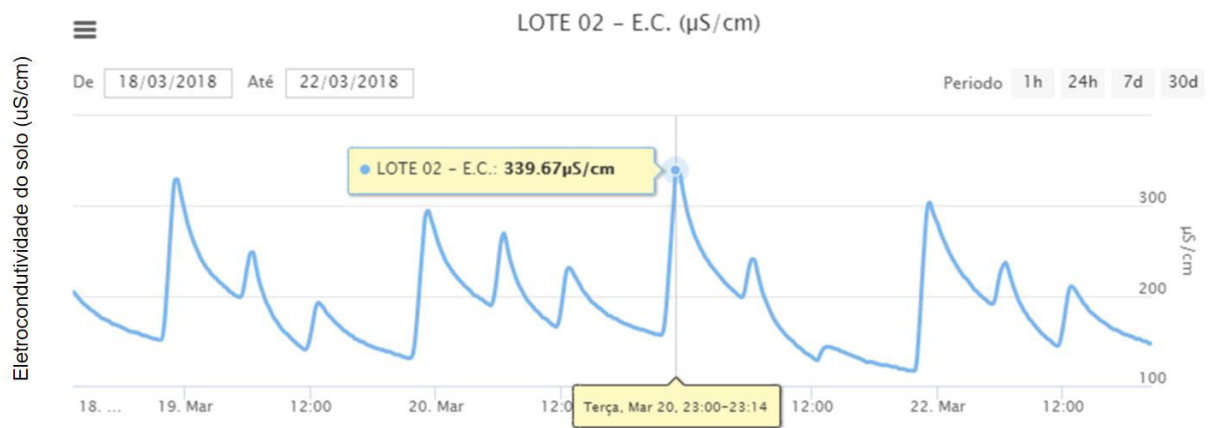
Os sensores também podem ser utilizados como medida de segurança na automação de processos críticos da fazenda. Como exemplo, pode-se citar o controle da irrigação e da fertirrigação com base na leitura de sensores de umidade e eletrocondutividade do solo:

- **Umidade do solo:** Sensores de umidade do solo podem interromper a atuação de bombas e válvulas de irrigação se a quantidade de água estiver

acima da capacidade de campo do solo, evitando a lixiviação de nutrientes e, por consequência, a morte da cultura.

- **Eletrocondutividade do solo:** Sensores de eletrocondutividade do solo podem interromper a fertirrigação da área se a eletrocondutividade estiver muito elevada, evitando a queima das plantas. A Figura 16 apresenta as leituras de sensor de eletrocondutividade instalado em área fertirrigada. O controle de eletrocondutividade é indispensável para evitar a morte das culturas por excesso de nutrientes e o desperdício dos mesmos;

Figura 16 – Gráfico de leituras de sensor de eletrocondutividade do solo



Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020).

Outro tipo de associação comum entre sensor e automação é o controle de pressão de irrigação realizado por bombas e inversores no campo. Sistemas de bombeamento integrado e autorreguláveis são capazes de garantir a pressão ideal de irrigação para cada área irrigada no campo. Os controladores de bombeamento são capazes de coordenar várias bombas de irrigação e regular válvulas conforme as leituras de sensores e exigências de pressão para cada adutora de irrigação.

A Figura 17 apresenta as leituras de pressão para uma adutora cuja programação de irrigação ocorreu das 06:45 da manhã até às 15:30. Os valores de pressão, além de serem um indicativo do funcionamento das bombas automatizadas, indicam também possíveis problemas que venham a ocorrer em toda a extensão da adutora, como vazamentos e rompimentos.

Figura 17 – Gráfico de leituras de sensor de pressão de adutora

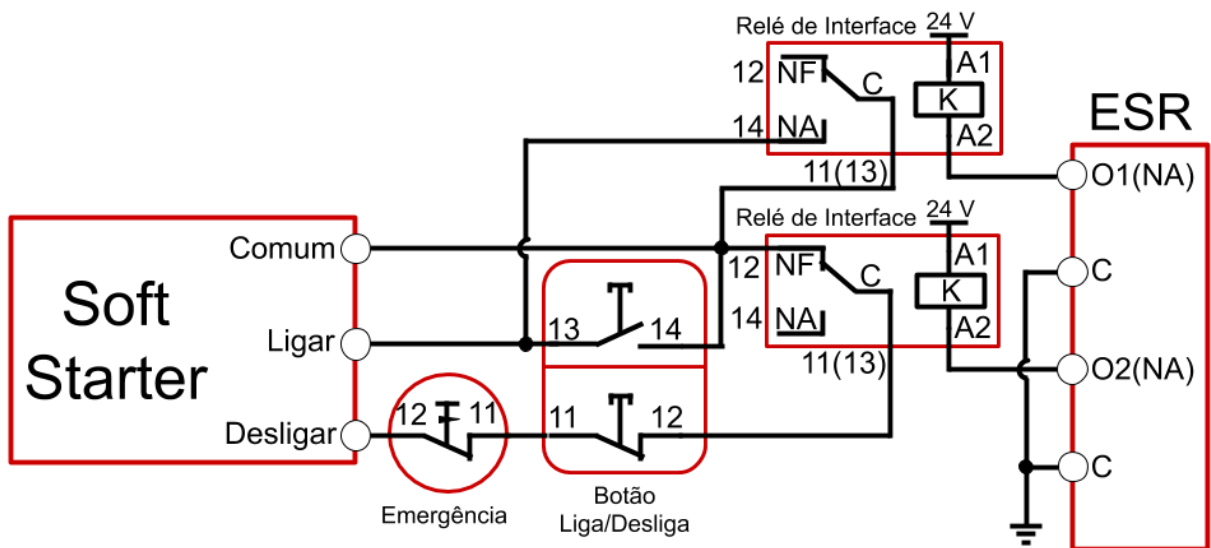


Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020).

O acionamento de bombas e válvulas é regulado de acordo com a leitura de sensores e com a pressão especificada para cada área irrigada reduz o desperdício de água e o consumo de energia elétrica. Ao garantir a uniformidade da pressão de irrigação em cada área cultivada, o produtor rural observa ganhos de produtividade e de qualidade em sua cultura irrigada.

Caso o acionamento de uma determinada bomba não seja realizado por inversor, a mesma ainda pode ser acionada automaticamente através da disposição de relés de interfaces listados na Figura 18:

Figura 18 – Esquema de ligação para acionamento de bombas



Fonte: Autoria própria

## 4 RESULTADOS

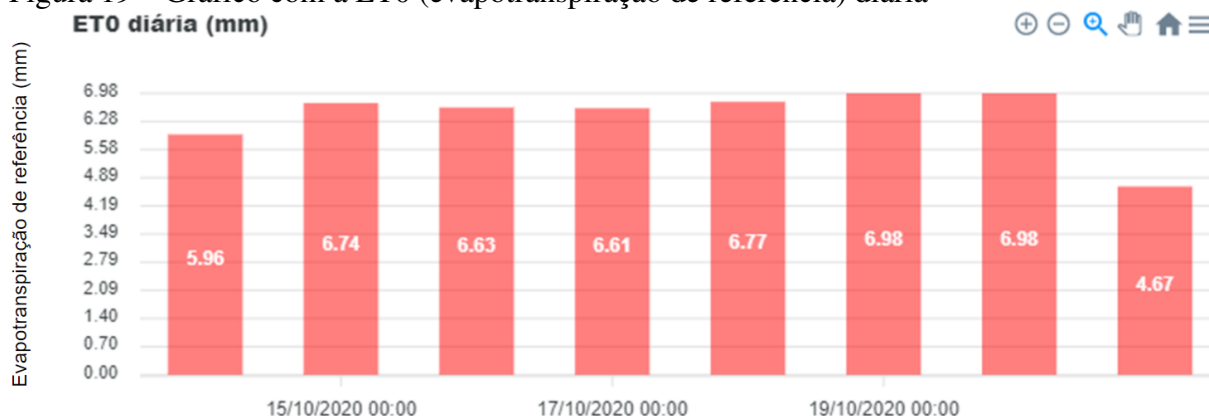
Produtores de pequeno, médio e grande porte no Brasil, especialmente os fruticultores localizados no Nordeste, já colhem os benefícios proporcionados pelas tecnologias de Internet das Coisas (IdC) na agricultura 4.0. Dentre os benefícios, destacam-se: economia de água, de nutrientes, de energia, otimização de mão de obra e aumento da produtividade.

### 4.1 Economia de Água

A utilização de estação meteorológica inteligente em conjunto com sensores de umidade e potencial mátrico do solo e a automação de bombas e válvulas de irrigação tem reduzido a quantidade de água utilizada nas culturas. Estima-se, que em 2018, foram economizados 34% de água em grandes produtores rurais localizados em Mossoró-RN.

A Figura 19 apresenta o gráfico de ET<sub>0</sub> calculado automaticamente pelas estações meteorológicas inteligentes presentes no campo. Com a ET<sub>0</sub> calculada, os operadores dos sistemas automatizados e gerentes de irrigação das fazendas são capazes de avaliar, com precisão, as demandas hídricas das culturas. Com o déficit hídrico rigorosamente estimado, é possível irrigar a lâmina correta de água no horário correto, otimizando a utilização de água na agricultura e reduzindo os desperdícios.

Figura 19 – Gráfico com a ET<sub>0</sub> (evapotranspiração de referência) diária



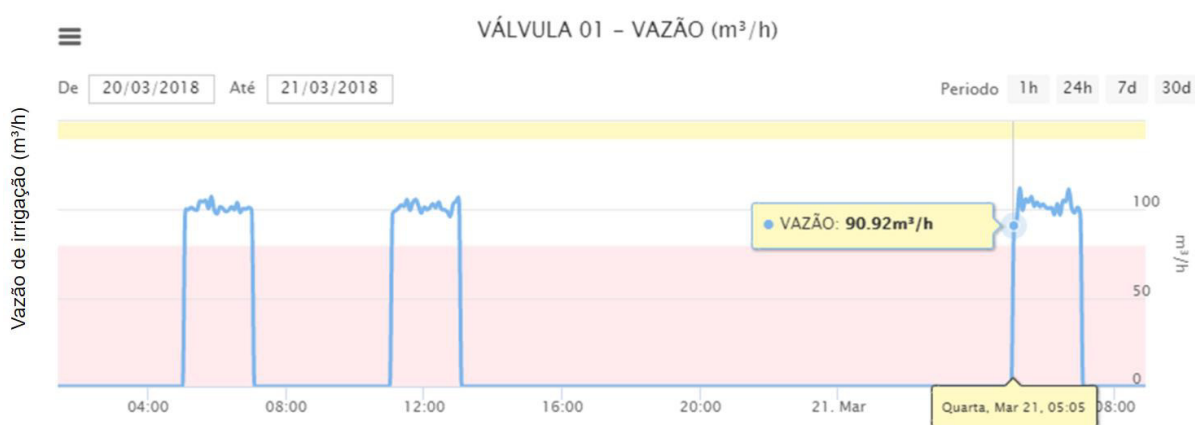
Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020).

Outro fator que também contribuiu para a redução do desperdício de água foi a criação das agendas de irrigação. Antes da implantação dos sistemas de automação, era

comum que produtores rurais irrigassem em excesso temendo que as culturas morressem por falta de água. O excesso de água que resultava em desperdício deste recurso natural tão precioso nos dias de hoje, também lixiviava os nutrientes do solo, prejudicando a nutrição das culturas.

A Figura 20 apresenta um gráfico de vazão de água que mostra, com clareza, os pulsos de irrigação com vazão constante. A regulação de vazão também auxilia no manejo de irrigação, pois torna-se possível estimar com precisão o tempo necessário para irrigar o volume de água desejável para a área cultivada.

Figura 20 – Gráfico de leituras de vazão registrados por hidrômetro



Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020).

## 4.2 Economia de Fertilizantes

Com a redução de água utilizada em campo, menor é a quantidade de nutrientes lixiviados no solo. Utilizando sensores de eletrocondutividade do solo e modernas tecnologias de automação de fertirrigação e injeção de nutrientes, produtores rurais de pequeno, médio e grande porte reduziram gasto com fertilizantes em 22%.

Os novos sistemas automatizados de fertirrigação possibilitaram o controle rigoroso do volume e tempo de aplicação de nutrientes. A quantidade certa de insumos aplicado no período ideal previne desperdícios e perdas na produtividade. Antes da utilização das tecnologias de automação de irrigação, o controle da injeção de adubos era realizado manualmente, com o auxílio de ferramentas simples como relógios de pulso (Figura 21).

Figura 21 – A fertirrigação realizada manualmente, com o auxílio de relógio de pulso



Fonte: Autoria própria.

### 4.3 Otimização de Mão de Obra

Atualmente, como os processos de irrigação e fertirrigação foram automatizados, os irrigadores e bombeiros, que antes acionavam bombas e válvulas do campo, foram realocados para outras atividades, otimizando a mão de obra do campo.

### 4.4 Economia de Energia

A possibilidade de agendar o acionamento automático de bombas para que as mesmas trabalhem fora do horário em que a tarifa de energia é mais cara possibilitou economia de até 25% na conta de luz da fazenda. Sensores de parâmetros elétricos das bombas possibilitaram redimensionar as bombas dos maiores fruticultores do país, reduzindo desperdícios.

Com a possibilidade de criação de agendas de irrigações, as bombas agora passam menos tempo ligadas, reduzindo o consumo de energia elétrica. Sensores de nível e de pressão também regulam o acionamento e a potência de bombas.

Nas Figuras 22 e 23 tem-se o comparativo da pressão de irrigação na adutora para uma mesma bomba. Percebe-se que antes da utilização de tecnologias de regulação de pressão através de controladores e inversores, não era possível definir com precisão a pressão de irrigação de cada área, subutilizando a bomba de irrigação.

Figura 22 – Pressão de irrigação da bomba antes da instalação do sistema de automação de bombeamento. O gráfico exibe a pressão de um dia de operação. Percebe-se como a pressão varia conforme a troca de irrigação entre as áreas, o que é indesejável e pode prejudicar a produtividade das áreas plantadas.



Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020). Com modificações do próprio autor.

Figura 23 – Pressão de irrigação diária, na mesma bomba da Figura 22. Percebe-se a uniformidade da pressão aplicada na irrigação. Em dois momentos, áreas com pressão definida para 2,5 bar foram irrigadas. Em dois momentos, áreas com pressão definida para 2,7 bar foram irrigadas.



Fonte: 3V3 TECNOLOGIA (2020). Com modificações do próprio autor.

#### 4.5 Aumento na Produtividade

Quando utilizadas corretamente, as tecnologias 4.0 proporcionam grande aumento de produtividade, até mesmo em áreas com histórico de baixos rendimentos de frutos. Através de levantamento realizado pelos próprios produtores rurais, que compararam o consumo de energia, de água e a quantidade de caixas de frutos produzidas para áreas em diferentes safras, antes e depois da utilização das novas tecnologias, foi-se observado que os resultados positivos e benefícios não tardam em aparecer. Os maiores fruticultores do país relataram, em 2020, aumento de 40% em produtividade utilizando tecnologias de Internet das Coisas na agricultura. A Figura 24 apresenta um resumo dos principais benefícios observados durante o levantamento deste trabalho. As taxas de variação foram obtidas ao se comparar, para o mesmo conjunto de áreas, resultados de safras antes e após a implantação dos sistemas de sensoriamento e automação do campo.

Figura 24 – Benefícios da agricultura 4.0 aos produtores do Nordeste



Fonte: Autoria própria.

Os benefícios são observados tanto em culturas perenes, como o melão e a melancia, quanto em culturas de ciclo longo, como a uva. Por consequência, a tendência é que o movimento de modernização dos campos nordestinos ganhe cada vez mais tração e torne-se cada vez mais presente nas variadas culturas irrigadas do Brasil.

Na Figura 25 tem-se áreas de melão automatizadas por tecnologias de Internet das Coisas (IdC). Ao fundo, observa-se o dispositivo de controle de irrigação estrategicamente posicionado para melhor recepção do sinal de comunicação por radiofrequência e, por consequência, dos comandos oriundos do concentrador de informações.

Figura 25 – Áreas irrigadas pela automação no Nordeste



Fonte: Autoria própria.

## 5 CONCLUSÕES

O mundo moderno exige cada vez mais a rápida obtenção e análise de informações. A correta coleta e tratamento de dados pode proporcionar grandes benefícios, sejam eles na indústria, na agricultura ou nas relações humanas. Bastam que as melhores ferramentas estejam nas mãos das pessoas certas.

O principal impacto da adoção do manejo autônomo da irrigação foi a redução de erros por parte dos operadores de campo, como bombeiros e irrigadores. A criação de agendas de acionamento de bombas e válvulas de irrigação e o sensoriamento das culturas permitiram que produtores rurais otimizem sua produção.

As consequências diretas destes impactos iniciais foram ganhos na uniformidade do manejo aplicado devido a utilização dos modelos de estimativa de reposição de água no solo, através da  $ET_0$  calculada com o auxílio de estações meteorológicas, e a garantia de que o que está sendo necessitado pela cultura está sendo aplicado, já que todas as áreas são sensoriadas.

Do ponto de vista de recursos, os erros dos operadores impactam diretamente no consumo de água e energia da fazenda. Este excesso acaba por ser lixiviado e se o volume excedente de água for muito elevado, podem ocorrer impactos ambientais como elevação e contaminação do lençol freático, em casos extremos.

Por outro lado, do ponto de vista da cultura, estima-se que erros como os descritos possam levar a casos em que não haja aplicação de irrigação alguma, levando as áreas de plantio a serem submetidas a um estado de estresse hídrico indesejado. Como resultado deste manejo inadequado, poderá haver perda de produtividade devido ao comprometimento do desenvolvimento da planta, dependendo do estágio de desenvolvimento da mesma quando ocorrer o estresse.

Neste trabalho foi constatada a redução destes erros de gestão do processo da irrigação venha impedir com maior eficiência a possibilidade de ocorrência dos impactos destrutivos ao meio ambiente descritos previamente.

Quanto a mão de obra, os operadores poderão se dedicar ao acompanhamento dos dados dos sensores de campo, juntamente com observação dos relatórios e alertas gerados pelo sistema, o que resultará numa tomada de decisões mais rápida, eficiente e embasada para realização de ajustes nas soluções tecnológicas visando um melhor apuramento da sugestão de manejo da irrigação fornecido pelas plataformas inteligentes.

Outro impacto esperado é a possibilidade de uma aceitação maior para instalação das novas tecnologias em pequenos produtores. Com o surgimento de novos dispositivos *data loggers* de baixo custo, a automação de áreas de pequeno porte poderá ser realizada de forma mais simplificada e com uma menor necessidade de recursos para a implantação. Pequenos produtores, que não possuem muitos funcionários, acompanham os processos de irrigação e fertirrigação de forma simplificada, otimizada e com gestão automática.

Por fim, a busca pela otimização no uso dos recursos naturais e insumos fará com que haja uma grande quantidade de sensores dispersos e instalados em campo. Esses sensores gerarão dados em grande volume que precisarão ser filtrados (MASSRUHÁ, 2018). Com a utilização de tecnologias de *Big Data* e a formação de grandes bancos de dados de soluções para os diversos problemas que possam a vir ser enfrentados, os usuários obterão as informações de forma muito mais rápida e dados de melhor qualidade.

Acredita-se que a migração de todas as etapas possíveis do processo de manejo agrícola para o meio digital seja uma alternativa para otimizar a produção. Sendo assim, espera-se que cada vez mais a tecnologia será eficiente e acessível a todos os produtores.

## REFERÊNCIAS

3V3 TECNOLOGIA **Sistema de Gestão e Manejo Agrícola**. Versão 4; 3V3 TECNOLOGIA LTDA, 2020. Disponível online em: <https://www.3v3.com.br>

3V3 TECNOLOGIA. **INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS DE GESTÃO E MANEJO AGRÍCOLA PARA A IRRIGAÇÃO MODERNA**. In: INOVAGRI Meeting Virtual 2020; XXIX CONRID Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem; IV Simpósio Brasileiro de Salinidade; 2020.

ANA; **LEVANTAMENTO DA AGRICULTURA IRRIGADA POR PIVÔS CENTRAIS NO BRASIL - 2014**; 2014. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/ProjetoPivos.pdf>; Acessado em: 01 de março de 2021.

ANA; **ATLAS IRRIGAÇÃO; USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA MODERNA**; 2ª edição; Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico; 2021.

DUTRA, Alice; **Sensores: Uma tendência para otimizar os processos no campo**; 2018; Disponível online em: <http://www.http://pordentrodoagro.strider.ag/sensores-agricultura-precisao-tendencia-otimizar-processos-campo>. Acessado em: 01 de março de 2021

EMBRAPA; **O futuro da agricultura brasileira: principais sinais e tendências em cada megatendência**; 2019. Disponível online em: [https://www.embrapa.br/conteudo-web/-/asset\\_publisher/fHv2QS3tL8Qs/content/visao-papel-da-cti-texto](https://www.embrapa.br/conteudo-web/-/asset_publisher/fHv2QS3tL8Qs/content/visao-papel-da-cti-texto). Acessado em: 01 de março de 2021

FLORES, Carlos Alberto; ALBA, José Maria Filippini; **A pedologia e a agricultura de precisão**; EMBRAPA - Agricultura de precisão: Resultados de um novo olhar; p. 36; 2014;

MARQUELLI, Waldir A.; SILVA, Washington L. C.; **Seleção de Sistemas de Irrigação para Hortaliças**; EMBRAPA; p. 15; 1998;

MASSRUHÁ, Silvia Maria Fonseca Silveira; LEITE, Maria Angelica de Andrade; **AGRO 4.0 – RUMO À AGRICULTURA DIGITAL**; EMBRAPA; 2018;

MOLIN, J. P.; **Agricultura de precisão**. Parte I: O que é e estado da arte em sensoriamento; Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.17; 1997;

PINTO, José Maria; BASSOI, Luís Henrique; SOARES, José Monteiro; **Manejo da fertirrigação**; 2005. Disponível online em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia22/AG01/arvore/AG01\\_53\\_24112005115222.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia22/AG01/arvore/AG01_53_24112005115222.html). Acessado em: 01 de março de 2021

RIBEIRO, Josiana Gonçalves; MARINHO, Douglas Yusuf; ESPINOSA, José Waldo Martínez Espinosa; **AGRICULTURA 4.0: DESAFIOS À PRODUÇÃO DE ALIMENTOS E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS**; Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão; 2018;

ROMANHUK, Stefhani; **A agricultura 4.0 no Brasil**; 2020. Disponível online em: <https://digitalagro.com.br/2020/05/08/a-agricultura-4-0-no-brasil/>. Acessado em: 01 de março de 2021

UNESCO; **WATER AND JOBS**; The United Nations World Water Development Report 2016; 2016. Disponível em: <http://www.unescap.org/sites/default/files/2016%20UN%20World%20Water%20Development%20Report-%20Water%20and%20Jobs.pdf>. Acessado em: 01 de março de 2021

VALENTE, Jonas; **Internet das Coisas: saiba como essa tecnologia pode afetar sua vida**; 2020; Disponível online em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-09/internet-das-coisas-saiba-como-essa-tecnologia-pode-afetar-sua-vida>. Acessado em: 01 de março de 2021

VILLAS BOAS, R. L., BULL, L. T., FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. coord. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária; 1999;

ZAPAROLLI, Domingos; **FAZENDAS CONECTADAS**; Revista Pesquisa FAPESP; Janeiro de 2020;