

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**CEZAR BERTELLI**

**MONITORAMENTO DE ENGATE E DESENGATE DE EQUIPAMENTOS  
UTILIZANDO TECNOLOGIA BLE BEACON JUNTAMENTE COM ESP32**

**CAMPO MOURÃO**

**2023**

**CEZAR BERTELLI**

**MONITORAMENTO DE ENGATE E DESENGATE DE EQUIPAMENTOS  
UTILIZANDO TECNOLOGIA BLE BEACON JUNTAMENTE COM ESP32**

**Monitoring of hitch and unhitch of equipment using BLE beacon technology  
ESP32**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Inovações  
Tecnológicas da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Roberto Ribeiro Neli.

**CAMPO MOURÃO**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



CEZAR BERTELLI

**MONITORAMENTO DE ENGATE E DESENGATE DE EQUIPAMENTOS UTILIZANDO TECNOLOGIA BLE  
BEACON JUNTAMENTE COM ESP32**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Inovações Tecnológicas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Inovações Tecnológicas.

Data de aprovação: 02 de Maio de 2023

Dr. Roberto Ribeiro Neli, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Leandro Castilho Brolin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Leandro Tiago Manera, Doutorado - Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

Dr. Lucas Ricken Garcia, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 14/06/2023.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Roberto Ribeiro Neli, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória, juntamente com todos os professores que me ensinaram durante o curso.

Agradeço também ao Henrique Nomura, Felipe Yuri e Guilherme Galana que, em nome da empresa Solinftec, me auxiliaram na conclusão deste trabalho.

Gostaria de deixar registrado também, o meu agradecimento à minha família e amigos Elmir, Sandra, Pedro e Karianne, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

## RESUMO

A agricultura brasileira, possui uma posição de destaque ao ser comparada com o agronegócio mundial. Tal visibilidade está vinculada a diversas iniciativas que são utilizadas para gerar um aumento quantitativo e qualitativo das lavouras, como por exemplo a agricultura de precisão. Este trabalho, utilizando definições de agricultura de precisão, apresenta uma solução focada na produção (ou cultivo, colheita) de cana de açúcar. O estudo em questão foi realizado para o processo de engate e desengate de equipamentos pudesse ser monitorado eletronicamente. Tal solução, foi idealizada pois, a informação do vínculo entre os equipamentos, é utilizada para realizar a organização da frota e principalmente como parte para a geração do certificado digital de cana de açúcar e controle de áreas irrigadas. O certificado consiste em acompanhar todo o processo da colheita da cana, sabendo assim desde o local onde foi colhida até as informações dos equipamentos que fizeram o processo. Sendo assim possível fazer ajustes pontuais na lavoura com base nessas informações e análises laboratoriais da qualidade da cana, o que pode aumentar a produtividade da lavoura. Devido a diversos fatores, o campo apresenta condições instáveis, o que pode gerar diversos problemas para os dispositivos eletrônicos. Assim, para minimizar possíveis danos, definiu-se que seria necessária a utilização de equipamentos sem fio, que apresentasse baixo índice de manutenção e com uma bateria que durasse uma safra completa (aproximadamente oito meses). Para suprir todas as necessidades listadas, juntamente com a análise de dispositivos já utilizados pela empresa, escolheu-se usar o Beacon e a ESP32. Por fim, a implementação desta solução foi programar e definir a comunicação entre os dispositivos, definir pela intensidade de sinais se os dispositivos estão ou não engatados e informar para o computador de bordo caso aconteça a mudança de estado. Para validar toda a aplicação foram feitos testes tanto em bancada como também em campo. Com a finalização dos testes, foi possível obter alguns resultados em relação a solução pré-existente. O engate e desengate de caminhões canavieiros, possui três pontos mais importantes, primeiramente a redução do tempo de instalação, pois a solução deixou de ser cabeada e passou a ser sem fio. Por segundo, cessar os problemas de comunicação por falha mecânica, seja ela por desalinhamento de sensor ou rompimento dos cabos. Em terceiro, como o Beacon é uma tecnologia inteligente, além de fornecer os dados de engate e desengate, seu kit tem potencial para mandar outras informações, como número de frota, intensidade de sinal. A solução voltada para o *Hidro Roll*, também gerou dados significativos, fazendo de forma eficiente o engate e desengate com o trator reboque além de fornecer as informações de forma remota para os operadores. Por fim, as duas aplicações apresentadas geraram uma grande aceitação no mercado e vão se tornar produtos entre o segundo semestre de 2023 e o primeiro semestre de 2024.

Palavras-chave: ESP32; Beacon; Agricultura de precisão; *Bluetooth low energy*, Cana de açúcar.

## ABSTRACT

Brazilian agriculture holds a prominent position when compared to global agribusiness. This visibility is linked to various initiatives used to generate quantitative and qualitative improvement in crops, such as precision agriculture. This work, using definitions of precision agriculture, presents a solution focused on the production (or cultivation, harvesting) of sugarcane. The study was conducted to electronically monitor the process of attaching and detaching equipment. This solution was conceived because the information about the equipment linkage is used for fleet organization and primarily for generating the digital certificate of sugarcane and controlling irrigated areas. The certificate involves tracking the entire sugarcane harvesting process, from the location of harvest to the information about the equipment involved. This allows for specific adjustments in the field based on this information and laboratory analysis of sugarcane quality, which can increase crop productivity. Due to various factors, the field presents unstable conditions, which can pose several problems for electronic devices. Therefore, to minimize potential damage, it was determined that wireless equipment with low maintenance and a battery that lasts a complete harvest (approximately eight months) would be necessary. To meet all the listed requirements, along with an analysis of devices already used by the company, it was decided to use the Beacon and ESP32. Finally, the implementation of this solution involved programming and defining the communication between the devices, determining the state change based on signal strength, and informing the onboard computer. To validate the entire application, tests were conducted both in the laboratory and in the field. With the completion of the tests, it was possible to obtain some results regarding the pre-existing solution. The attachment and detachment of sugarcane trucks have three key points: firstly, a reduction in installation time since the solution switched from wired to wireless. Secondly, it eliminates communication problems due to mechanical failures, such as sensor misalignment or cable breakage. Thirdly, as the Beacon is an intelligent technology, in addition to providing attachment and detachment data, its kit has the potential to transmit other information, such as fleet number and signal strength. The solution developed for the Hidro Roll also generated significant data, efficiently handling the attachment and detachment with the tow tractor and providing remote information to the operators. Finally, both applications have gained significant acceptance in the market and will become products between the second half of 2023 and the first half of 2024.

Keywords: ESP32; Beacon; Precision agriculture; Bluetooth low energy; Sugar Cane.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Relação de intensidade e distância aproximada .....	31
Figura 2 - Testes iniciais Beacon.....	35
Figura 3 - Tela de contingência.....	37
Figura 4 - Engate do caminhão canavieiro.....	39
Figura 5 - Engate do Hidro Roll.....	41
Figura 6 - Tela de contingência <i>hidro roll</i> .....	43
Figura 7 - Tela computador de bordo Solinftec .....	45
Imagem 1 - Sinalização de parafusos do Beacon.....	30
Imagem 2 - Instalação da solução no engate nas carretas.....	40
Imagem 3 - Instalação da solução no engate no caminhão.....	40
Imagem 4 - Instalação sistema no Hidro roll.....	41
Imagem 5 - Instalação Trator.....	42
Imagem 6 - Rastro de irrigação do <i>hidro roll</i> .....	47
Quadro 1 - Exemplo de funcionamento iBeacon.....	26
Quadro 2 - Exemplo da tabela referencial de 3 beacons .....	38
Quadro 3 - Lista dos valores de intensidade e sua media em dBm.....	38
Quadro 4 - Alterações na tabela referencial.....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BLE	<i>Bluetooth low energy</i>
CDC	Certificado de Cana de Açúcar
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
FIFO	<i>First In, First Out</i>
FUT	Fila Única de transbordo
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IoT	<i>Internet of Things</i>
RFID	Radio Frequency Identification



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	Objetivos Gerais .....	14
1.2	Objetivos Específicos .....	15
1.3	Justificativa.....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
2.1	Tecnologia no agronegócio.....	16
2.2	Agricultura de precisão .....	16
2.3	Cana de açúcar .....	17
2.4	Agricultura de precisão em cana de açúcar .....	18
2.4.1	Solinftec.....	18
2.4.2	Ciclo de colheita da Cana de açúcar .....	19
2.5	Engate e desengate .....	23
2.6	<i>Internet of Things (IoT)</i> .....	24
2.6.1	<i>Bluetooth Low Energy (BLE)</i> .....	24
2.6.2	Beacon .....	25
2.6.3	ESP32 .....	27
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>28</b>
3.1	Justificativa.....	28
3.2	<i>Hardware</i> .....	29
3.3	Protocolo.....	32
3.4	<i>Software</i> .....	32
3.4.1	Testes Iniciais de <i>Software</i> .....	34
3.4.2	Ajustes de <i>firmware</i> e criação de tela de contingência.....	35
3.4.3	Testes Finais de <i>Software</i> .....	37
3.5	Instalações e testes em campo (Caminhão Canavieiro) .....	39
3.6	Instalações e testes em campo ( <i>Hidro Roll</i> ) .....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
4.1	Caminhão Canavieiro.....	44
4.2	<i>Hidro Roll</i> .....	45
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira, possui uma posição de destaque ao ser comparada com o agronegócio mundial. Tal conquista se dá principalmente pela pesquisa e desenvolvimento focados na agricultura, como melhorias na genética, mecanização, novos métodos de cultivo e a agricultura de precisão (SWINTON; LOWENBERG-DEBOER,1998).

A agricultura de precisão, enfoque deste trabalho, tem como principais especificações, a criação de um conjunto de métodos e aplicações no qual auxiliam no aumento quantitativo e qualitativo de uma produção. Estas aplicações podem estar diretamente relacionadas com o cultivo ou também podem ser utilizadas de forma passiva, como monitoramento da lavoura (GENTIL, FERREIRA, 1999).

Uma divisão bem definida sobre as aplicações da agricultura de precisão é feita pela diferenciação nos vários tipos de culturas existentes. Tal fato acontece, pois, cada cultura possui suas próprias necessidades e características. Um exemplo bastante simples para entender tais diferenciações, são as modificações entre as plantadoras de grãos e de cana de açúcar.

O plantio de grãos, pela facilidade de se carregar uma quantidade alta de sementes, está propício a plantar até 68 linhas de uma só vez, já o plantio de cana de açúcar, pela dificuldade de transportar pedaços de brotos, normalmente é plantado somente duas linhas simultaneamente.

O foco principal deste trabalho consiste em fazer o monitoramento do engate e do desengate de caminhões canavieiros e de *hidro roll*, ou seja, a partir de suas identificações, fazer o vínculo digital entre uma carreta com um caminhão canavieiro e também de um trator com um *hidro roll*. Tal informação é bastante importante pois auxilia tanto na organização das frotas como no fornecimento dos dados como parte de outras soluções que trabalham com análises qualitativas de lavouras.

Antes de explicar necessariamente o conceito da aplicação, é conveniente dar um contexto geral sobre as aplicações da solução e também sobre o local ao qual foi realizada a pesquisa e desenvolvimento.

A Solinftec é uma empresa de desenvolvimento de tecnologias para o agronegócio, foi fundada em 2007 e em seu início, trabalhava somente com cana de açúcar, ao qual até hoje é sua maior área de atuação, monitorando mais de 90% das lavouras do país e também presente em outros países do continente americano. Hoje

além da cana de açúcar, também faz o monitoramento de grãos, fibra e culturas perenes, como citros, café e florestal (SOLINFTEC, 2022).

Seu maior campo está presente nas lavouras de cana de açúcar e, conseqüentemente, diversos projetos são focados nesse tipo específico de cultura. Como já citado, a informação de engate e desengate entre os equipamentos é utilizada para realizar a organização da frota e principalmente como parte para a geração do Certificado Digital de Cana de açúcar e controle de Fertirrigação do *hidro roll*.

O certificado consiste em acompanhar todo o processo da colheita da cana, sabendo assim desde o local onde foi colhida até as informações dos equipamentos que fizeram o processo. Com toda essa rastreabilidade, juntamente com a análise laboratorial da qualidade da cana, faz-se possível inserir ajustes pontuais na lavoura e aumentar sua produtividade.

Assim como o Certificado Digital de Cana, o Fertirrigação também traz um ganho muito grande de informação para os agricultores, pois ele tem como objetivo dar uma visão em tempo real de todas as irrigações da usina, verificando se estão sendo aplicadas da forma adequada.

Para que se percorra todas as etapas de funcionamento dos dois projetos, faz-se necessário que todo o ciclo se cumpra de forma ímpar, para isso, existem pontos específicos de marcação ao qual servem para sinalizar os processos finalizados e assinalar para o sistema qual tipo de operação está acontecendo no exato momento.

Um desses momentos é o processo de engate e desengate. Este processo é basicamente o início de todo o processo para os dois projetos, ou seja, caso aconteça qualquer tipo de problema, influenciará em toda a cadeia de informações. Esta influência foi um dos fatores que se fizeram necessário a criação deste trabalho, pois, os equipamentos utilizados para resolver tal problema, gerava algumas inconsistências de dados e conseqüentemente, acontecia erros no processo final.

## **1.1 Objetivos Gerais**

O objetivo deste trabalho pode ser delimitado em realizar o estudo e desenvolvimento para estabelecer o monitoramento do engate e desengate de equipamentos agrícolas utilizando uma tecnologia não cabeada, com baixo custo de energia e com facilidades para manutenção

## 1.2 Objetivos Específicos

- Definição de *Hardware*;
- Definição de protocolo de comunicação;
- Implementação de *software*;
- Testes em bancada;
- Definições de instalações;
- Testes em campo;

## 1.3 Justificativa

A realização do monitoramento do engate e desengate de equipamentos agrícolas não é algo trivial para se fazer eletronicamente, os problemas gerados aos equipamentos eletrônicos por conta da diversidade das lavouras é algo crucial a ser analisado.

Um dos principais problemas encontrados no processo antigo de engate e desengate das carretas é a instalação do sensor utilizado. Este sensor tem como utilização a tecnologia magnética, ou seja, quando a carreta está engatada, o sensor fica próximo da estrutura metálica e gera um sinal alto na saída, da mesma forma, quando fica longe da estrutura metálica fornece um sinal de baixo na saída.

Como o engate e desengate das estruturas são realizados com uma força relativamente alta e em um cenário rústico, muitas vezes o processo de acoplamento da carreta gera o desalinhamento ou rompimento do sensor, perdendo assim a veracidade do sinal e conseqüentemente invalida a solução.

Para resolver este tipo de problema, imaginou-se uma estrutura que utilizasse sensores inteligentes e que possuíssem sinais remotos. Após vasculhar diversos tipos de opções, o Beacon foi escolhido pois já fazia parte do escopo de outros projetos da empresa.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Quando se fala em inovações tecnológicas, sempre vem em mente a criação de robôs, corrida espacial, casas inteligentes e outros tipos de evoluções em contextos futurísticos. Mas, além disso, uma das áreas que teve um maior crescimento com a tecnologia e ainda continua fomentada para impulsionar cada vez mais a sua amplificação é o agronegócio (RODRIGUES MOREIRA *et al.*, 2016).

### **2.1 Tecnologia no agronegócio**

O rendimento do agronegócio nacional é uma das parcelas mais importantes dentro do PIB brasileiro que, mesmo trazendo uma queda no primeiro trimestre de 2022, ainda foi responsável por 24,8% do PIB brasileiro no ano, dados que demonstram não só a grande importância do setor como também a alta quantidade de oportunidades oferecidas (CEPEA, 2022).

Se comparado às décadas anteriores, existe um crescimento bastante expressivo na produtividade do agronegócio. Entre os anos de 1991 e 2006, por exemplo, a produção de grãos cresceu em torno de 106,74% e, quando relacionado com o aumento de 24,5% de área produtiva, chega-se a um crescimento na produtividade de 66,7%. Existem vários fatores que ajudaram em tal crescimento de produtividade, sendo o principal deles a inserção da tecnologia (CONAB, 2007).

A evolução tecnológica do agronegócio está presente em todas as áreas e é respaldada principalmente pela pesquisa e desenvolvimento focados na agricultura e pecuária, como melhorias na genética, mecanização, novos métodos de cultivo e a agricultura de precisão (SWINTON; LOWENBERG-DEBOER, 1998).

### **2.2 Agricultura de precisão**

A agricultura de precisão é uma das áreas de tecnologia mais vasta no meio empresarial agrícola. A sua evolução tem como principal definição criar um conjunto de métodos e aplicações no qual auxiliam na facilitação de serviços e aumento quantitativo e qualitativo de uma produção, resultando assim em uma melhor rentabilidade dentro de uma mesma área (GENTIL, FERREIRA, 1999).

A agricultura de precisão pode ser inserida de diversos modos na lavoura, normalmente sendo auxiliada por dispositivos eletrônicos e projetada para obter um retorno de dados que facilita o aumento da produtividade. Alguns dos cenários mais

comuns em que se encontram tais aplicações são em plantio, tratos e colheita de diversas culturas (SHAFI *et al.*, 2019).

Um exemplo real para contextualizar a definição de agricultura de precisão, podem ser os sensores de contagem de semente. Estes sensores são comumente encontrados em lavouras de grãos, ao qual, quando instalados no suporte de uma plantadora, por meio de emissores e receptores infra vermelho, eles conseguem fazer a contagem de quantas sementes estão sendo inserida no solo, diminuindo o índice de falhas no plantio e gerando uma previsibilidade de colheita (SHAFI *et al.*, 2019).

Outro exemplo bastante palpável e conhecido é o GPS. Por meio de coordenadas geradas pela triangulação de satélites, é possível saber a localização de um equipamento com uma precisão de menos de 3 centímetros, ao qual auxilia na automatização de processos agrícolas (SHAFI *et al.*, 2019).

A agricultura de precisão, como já mencionado anteriormente, pode ser considerada específica para cada tipo de cultura, ou seja, a tecnologia utilizada para a geração de dados em uma cultura de grãos, normalmente se diferenciará da tecnologia utilizada em perenes e cana de açúcar, pois idealmente suas formas de plantio, tratos e colheita são diferentes.

A cultura de cana de açúcar está entre os cultivos mais comuns do Brasil, juntamente com a soja, milho e o algodão. O Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar no mundo, sendo responsável respectivamente por 23% da produção e por 51,3% do comércio global do produto (CEPEA, 2022).

### **2.3 Cana de açúcar**

A cana de açúcar é uma das principais fontes de açúcar e álcool que existe. Ela possui origem na Ásia, mas foi largamente disseminada, podendo ser encontrada em diversos locais do mundo (VERMA *et al.* 2022).

O aumento da popularização da cana em terras brasileiras foi dado principalmente por incentivos governamentais nos momentos da história em que aconteceram as crises do petróleo, principalmente na década de 1970, ao qual sua expansão chegou aos estados do Paraná, Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul e se intensificaram no estado de São Paulo e no nordeste (YOGITHA, 2020).

Como comentado anteriormente, o Brasil é o maior produtor e exportador dos produtos derivados da cana de açúcar, fazendo com que aproximadamente 2% do PIB nacional seja derivado somente desta vertical agrônômica. No Brasil existem mais

de 400 usinas, responsáveis por movimentar aproximadamente 100 bilhões de reais por ano e a safra 2021/2022 registrou a marca de 523 milhões de toneladas de material processado (ÚNICA, 2022).

Com todos os números de representatividade no cenário e trazendo um pouco das informações sobre a expansão da tecnologia na agricultura, pode-se compreender a existência de diversas oportunidades de inserção de tecnologia nesse meio.

A necessidade de aumento da produtividade canavieira trouxe consigo muitas modificações no processo de geração de insumos. Dessas modificações, quando focado na parte operacional, encontra-se principalmente a evolução nas funcionalidades de moagem, transporte e até mesmo a mecanização de plantio, tratos e colheita (BERNARDI *et al.*, 2014).

## **2.4 Agricultura de precisão em cana de açúcar**

Os produtores do setor canavieiro, assim como todas as vertentes do agronegócio, estão sempre em busca de melhores tecnologias não só para melhorar o desempenho de suas lavouras, mas também para diminuir os impactos resultantes no meio ambiente (MENEGATTI, 2006).

O aumento da procura por tecnologia no campo abriu portas para diversas empresas, sejam elas para melhorias genéticas, melhorias mecânicas, melhorias eletrônicas, geradoras de dados entre outras. Dentre elas, a 15 anos no mercado, encontra-se a Solinftec.

### **2.4.1 Solinftec**

A Solinftec é uma empresa brasileira, líder global em IA (Inteligência artificial) e SaaS (*software* como serviço) para o agronegócio, fundada em 2007 por um grupo de engenheiros de automação de Cuba e liderada pelo seu atual CEO e fundador Britaldo Hernandez (SOLINFTEC, 2022).

Está em uma crescente expansão nas operações de forma global e, hoje, administra em tempo real mais de 12 milhões de hectares no Brasil, Estados Unidos, Canadá e em países da América Latina. Ao todo, opera em mais de 11 países espalhados pelo globo terrestre (SOLINFTEC, 2022).

Monitora mais de 90% das lavouras de cana no país, além do mercado de grãos, fibra e culturas perenes, como citros, café e florestal (SOLINFTEC, 2022).

Está sediada em Araçatuba-SP, com mais sete escritórios regionais nas cidades de Sinop, Nova Mutum e Querência, no Mato Grosso, Luiz Eduardo Magalhães, na Bahia, e Balsas, no Maranhão. Fora do Brasil possui uma sede em West Lafayette nos Estados Unidos e escritórios em Saskatoon no Canadá, Cali na Colômbia e Shenzhen na China (SOLINFTEC, 2022).

Um pouco da filosofia da empresa é de que tem o propósito de fornecer a cada fazenda um futuro sustentável. Construindo a melhor tecnologia para a agricultura, solucionando as necessidades mais críticas, em benefício à sociedade. Também possui a visão de ser referência para a agricultura na resolução de problemas complexos, aliando tecnologia para revolucionar o mundo agrícola (SOLINFTEC, 2022).

Quando surgiu a oportunidade de parceria entre a UTFPR e a Solinftec, as duas instituições foram grandes facilitadores para o acontecimento deste trabalho, fornecendo todo o aparato necessário para a finalização e sucesso dele.

Como comentado anteriormente, a Solinftec possui uma grande gama de informações agrícolas e faz o monitoramento de mais de 90% de todas as lavouras de cana de açúcar do Brasil. Esses dados fomentam para que exista um grande incentivo para novas soluções na vertente canavieira.

#### 2.4.2 Ciclo de colheita da Cana de açúcar

Para exemplificar o cenário agrônômico da cana de açúcar é necessário primeiramente enumerar todos os processos principais a serem realizados, desde o plantio até a geração do insumo (açúcar ou álcool).

O processo do plantio da cana de açúcar é bastante divergente de outras culturas, pois, já de início é possível verificar que a plantadora não insere sementes no chão, mas sim pequenos pedaços de cana de aproximadamente 20 cm, essa forma dificulta bastante o controle da quantidade de mudas plantadas em um talhão (BRAUNBACK, OLIVEIRA, 2006).

Tal peculiaridade também dificulta o processo de plantio multilinhas, ou seja, como o carregamento de toletes de cana é drasticamente mais pesado do que de sementes, a plantadora normalmente consegue fazer o plantio de uma linha por vez, perdendo em agilidade para plantadoras de grão (SOUSA, 2019).

Após o plantio, a próxima etapa importante a ser comentada é a irrigação. Existem três formas principais de fazer a irrigação na cana de açúcar, o *pivot*, o *hidro*



*roll* e a aplicação localizada. O processo de irrigação é feito normalmente com água ou com vinhaça (BARBOSA, 2019).

A vinhaça contém em sua composição enxofre, nitrogênio, magnésio, potássio, fósforo, óxidos e cálcio. Além disso, ela tem água, glicerina, ácido acético, ácido succínico, aldeídos e álcoois. Conta com a presença de micronutrientes e matéria orgânica, que contribuem para o desenvolvimento das espécies vegetais. O uso da vinhaça como adubo e fertilizante contribui para a drenagem da água no solo e evita a erosão (SILVA *et al.*,2007).

Além da vinhaça comum, ainda existe a vinhaça enriquecida, ao qual, após um estudo sobre as necessidades do solo em que irá ser irrigada, adiciona-se fertilizantes líquidos que complementam os nutrientes necessários para o cultivo naquela fazenda (GIACHINI, FERRAZ, 2009).

A irrigação com *pivot* como apresentado na Imagem 1, basicamente é um conjunto de arcos, divididos por um sistema de locomoção dependente eletronicamente entre si, ao qual é acoplado a um bombeamento de água. Toda a estrutura possui um controle instalado que serve para se movimentar e aplicar uma quantidade pré-definida de água sobre a cana plantada (SANDRI, CORTEZ, 2008).

**Imagem 1 – Pivot Linear**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

O *hidro roll*, apresentado na Imagem 2, assim como o *pivot*, tem sua implantação com foco em hidratar as lavouras de cana de açúcar, seja com água ou

com vinhaça. Seu conjunto é formado por duas partes principais, o bico aspersor do tipo canhão e a base móvel, também chamada de carretel (ROCHA *et al.*, 2005).

**Imagem 2 - Hidro Roll com o trator reboque**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

A primeira etapa de seu funcionamento, se dá quando, com o auxílio de um trator reboque, o bico aspersor é arrastado em linha reta até o limite da mangueira do carretel. Após efetuado o arraste, o envio de insumo é ligado e começa o processo de aspersão. Como o sistema foi montado para que não necessite de energia elétrica, conforme vai aspergindo, a própria energia cinética gerado pelo insumo passando pela tubulação enrola o carretel (MANTOVANI *et al.* 2009).

Quando o bico aspersor chega novamente próximo do carretel o operador responsável desativa o envio de insumo e novamente com ajuda do trator reboque é enviado para outro local e o ciclo se repete (BERNARDO, SOARES, MANTOVANI, 2006).

A terceira forma de irrigação é conhecida como aplicação de vinhaça localizada. Nesse processo, um trator arrasta um tanque que pode variar normalmente de 20000 a 40000 litros de vinhaça enriquecida, visto na Imagem 3. No mesmo tanque existe todo um aparato eletrônico e hidráulico que possui uma quantidade específica de bicos e é feito a dosagem a partir de uma controladora hídrica (MARTINS, OLIVEIRA, 2011).

**Imagem 3 - Aplicador de vinhaça localizada**



**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Após a fase de irrigação, inicia-se a colheita da cana de açúcar. Com essa marca, começa também todo um processo da safra, ou seja, as colhedoras, transbordos, caminhões canavieiros, caminhões pipas e a própria usina, voltam a ter o foco especificamente nos processos para a geração de insumos (açúcar e álcool).

Para facilitar o entendimento, dividiu-se os equipamentos por responsabilidades, ou seja, será comentado de forma sucinta desde a colhedora até os caminhões canavieiros.

A colhedora tem o papel de realizar o corte da cana inteira, expelir toda a palha, cortar em toletes menores e acomodar os pedaços cortados nos caixotes dos transbordos. Existem hoje colhedoras que já se permitem colher duas linhas de cana simultaneamente, dando mais velocidade ao processo.

Por sua vez, os transbordos fazem o deslocamento curto da cana, ou seja, seu ciclo inicia quando chega ao lado da colhedora e ela transfere toda a cana colhida para os caixotes dele. Quando os caixotes se encontram completos, o transbordo se desloca até o caminhão canavieiro mais próximo e efetua o basculamento (processo de erguer o caixote e transferir a carga para a carroceria do caminhão). Após o basculamento, o transbordo está apto para reiniciar seu ciclo (VIANNA *et al.*, 2020).

O caminhão canavieiro possui um ciclo um pouco mais complexo do que os outros maquinários. Seu início se dá dentro da usina, quando engata uma carreta vazia e recebe a informação para qual fazenda seguirá caminho. Após chegar na fazenda, o caminhão possui dois tipos de possibilidades, esperar ser carregado pelos transbordos e voltar para a usina ou desengatar a carreta vazia e engatar uma carreta já completa para acelerar o processo e voltar para a usina (esse processo é chamado

de bate-volta). Quando chegar na usina, seu ciclo termina e pode ser reiniciado (LIMA *et al.*, 2017).

Toda a carga que chega na usina levada pelo caminhão é selecionada e levada para a moagem, gerando assim o insumo final (açúcar ou álcool) e finalizando todo o ciclo geral da cana mecanizada.

## **2.5 Engate e desengate**

Todas as iniciativas de tecnologias estão sempre em evolução. Muitas vezes uma solução que resolvia problemas com total abrangência, com o aparecimento de novos cenários ou com o surgimento de novas tecnologias, passam a ficar defasadas tanto em lógica quanto em *hardware*. Um desses casos, e que conseqüentemente irá ser o problema a ser resolvido neste trabalho, é o engate e desengate de equipamentos.

Dentro das soluções da Solinftec, existe dois cenários que necessitam do monitoramento do engate e do desengate, um é o ciclo do caminhão canavieiro e o segundo caso é o arraste do *hidro roll* pelo trator reboque.

O processo de engate e desengate do caminhão canavieiro é totalmente mecânico, ou seja, enquanto a carreta está parada, o caminhão faz a manobra necessária até conseguir fazer o acoplamento. Como é um processo com baixa visibilidade e total dependência do operador, muitos são os casos que não é assertivo a tentativa de engate, causando a colisão entre as bases dos equipamentos.

Entre os projetos da Solinftec existe uma solução que faz o processo. Essa solução se baseia em um sensor indutivo comum de mercado, que faz o monitoramento de quando uma carreta está ou não engatada utilizando os princípios eletromagnéticos.

O sensor indutivo nada mais é do que uma chave digital que, quando for aproximado de uma estrutura metálica vai fornecer em sua saída o sinal em ALTO e caso contrário, terá a saída em BAIXO.

A ideia para solucionar o problema de engate e desengate com esse tipo de sensor foi extremamente eficiente em um contexto eletroeletrônico, mas, como é aplicado em um cenário bastante hostil, começou a apresentar alguns problemas estruturais.

## 2.6 *Internet of Things (IoT)*

Nos últimos anos, a IoT se tornou uma das tecnologias mais importantes do século XXI. Esse novo paradigma instaura a possibilidade de vincular o mundo real com o mundo virtual. Com a possibilidade de conectar objetos do cotidiano como eletrodomésticos, carros e maquinários à Internet, abre um leque de facilidades relacionadas a pessoas, processos e equipamentos (WANG *et al.* 2020).

A IoT descreve a rede de objetos físicos incorporados a sensores, software e outras tecnologias com o objetivo de conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas pela internet. Esses dispositivos variam de objetos domésticos comuns a ferramentas industriais sofisticadas. Com mais de 10 bilhões de dispositivos IoT conectados hoje, os especialistas esperam que esse número cresça para 22 bilhões até 2025 (ORACLE, 2022).

Dentre todos os dispositivos IoT, quando se fala de envio de informações com baixo gasto de energia, o Beacon se enquadra perfeitamente. Sua principal funcionalidade é enviar mensagens predefinidas em uma taxa de tempo determinada, utilizando o meio de transmissão *bluetooth low energy* (BLE).

### 2.6.1 *Bluetooth Low Energy (BLE)*

O *Bluetooth* é uma tecnologia desenvolvida inicialmente pela Ericsson Mobile Communications em 1994 com foco em trabalhar com *streaming* de dados de forma contínua, garantindo uma conexão *wireless* robusta. A comunicação entre aparelhos é feita através do uso de frequências 2.4 GHz (TOSI *et al.* 2017).

*Bluetooth Low Energy* (BLE) é uma técnica que apareceu na versão 4.0 do *Bluetooth*, em 2010. Ela permite diminuir os níveis de consumo de energia em aparelhos que não precisam transmitir grandes volumes de dados, podendo apresentar um gasto energético de apenas 10% em relação ao *Bluetooth* clássico (BLUETOOTH, 2022).

Dada a sua característica marcante, que a economia de energia, um dispositivo BLE permanece em modo *sleep* durante a maior parte do tempo, saindo desse modo apenas para realizar conexões que duram apenas milissegundos. Isso ocorre pois ele foi projetado para aplicações que apenas precisam enviar informações esporadicamente. Dessa forma, se tem um consumo energético com picos de 15 mA, mas com uma média de 1 uA (BLUETOOTH, 2022).

Nem todas as aplicações gerais conseguem se enquadrar com a tecnologia BLE, mas, para as necessidades que o Beacon possui, houve uma integração precisa entre a tecnologia e o dispositivo.

### 2.6.2 Beacon

Os Beacons, como a tradução livre do seu próprio nome já diz, é um “farol” e ele ganhou esse nome basicamente porque seu funcionamento é bem parecido com os faróis das margens das praias e portos.

Algumas dessas funcionalidades são que, ele é um pequeno dispositivo que funciona como um marcador de uma determinada posição, envia mensagens e não necessita de nenhum tipo de mensagem de retorno. Todos os dispositivos que possuem conectividade BLE, conseguem receber os dados enviados por ele (ZHUANG *et al.* 2022).

O Beacon possui um repertório de mensagens bastante completo, dependendo somente de como foi construído seu *hardware*. Por exemplo, pode mandar mensagens que possuem informações de giroscópio, acelerômetro, intensidade de sinal, além de alguns campos vazios em que o usuário pode inserir o conteúdo que julgar apropriado.

O Beacon não é um dispositivo inteligente, ou seja, sua função é somente fornecer mensagens, dessa forma, para todos os projetos que passam a utiliza-lo deve conter um receptor que além de receber suas mensagens e realizar a análise. Por essas peculiaridades, existem duas formas gerais para se usar os beacons: aproximação ou triangulação (ZHUANG *et al.* 2022).

Para aproximação, método que foi utilizado nesta solução, o receptor obtém os dados de intensidade de sinal que o próprio Beacon disponibiliza, e utilizando uma lógica de programação, pode ser usado para estimar se está se aproximando ou se distanciando do emissor (DELGADO *et al.*, 2018).

Para triangulações, que é um processo mais complexo, é necessário no mínimo três Beacons e, com a mesma ideia de um GPS, o receptor verifica a intensidade de sinal das mensagens que está recebendo dos Beacons, e assim é possível, com uma precisão relativamente alta, saber a sua própria localização (DELGADO *et al.*, 2018).

O iBeacon, criado pela Apple em 2013, foi o protocolo pioneiro utilizado pelos Beacons. No início, suas mensagens eram somente interpretadas por dispositivos da

própria fabricante, mas, como os Beacons utilizam a tecnologia BLE, em pouco tempo foram disponibilizados para os demais dispositivos (BORIC, REDONDO, VILAS, 2018).

De forma geral, a ideia inicial deste protocolo, era melhorar a experiência do usuário dentro de um shopping, assim, era configurado um Beacon para ficar emitindo mensagens sobre ofertas ou novidades da loja próxima a ele. Como os celulares são dispositivos que possuem comunicação BLE, os usuários ficariam recebendo esses dados. É importante ressaltar que os dados somente serão mostrados para o usuário se o mesmo tiver um aplicativo ou *software* que faz a análise dos dados recebidos.

**Quadro 1 - Exemplo de funcionamento iBeacon**

LOCALIZAÇÃO NA LOJA		LOJA 1	LOJA 2	LOJA 3
UUID		00000000-0000-0000-0000-000000000001		
MAJOR		1	2	3
MINOR	SAPATOS	1	1	1
	ROUPAS	2	2	2
	ESPORTES	3	3	3

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O Quadro 1 demonstra um exemplo bastante usual da ideia principal deste protocolo. Imagina-se que um proprietário possui três lojas varejistas em três cidades diferentes. As ofertas e novidades de cada loja são independentes entre si.

Nas três lojas mencionadas, são colocados Beacons próximos da sessão de sapatos, outro na de roupas e por fim um na de artigos esportivos. Quando um cliente (com o aplicativo das lojas instalados no celular) passar próximo de uma dessas sessões, o Beacon irá estar transmitindo as informações predefinidas de UUID, MAJOR e MINOR, o aplicativo irá fazer a análise e entregar para o cliente as ofertas e novidades daquela sessão.

O método realizado pela Apple possui dois pontos principais, disparar gatilhos sem a necessidade de internet e conseguir fazer o rastreamento de pessoas dentro de um local fechado e possivelmente com vários andares ao qual o GPS não tem boa aderência (WANG *et al.*, 2014).

O protocolo Eddystone, diferente do iBeacon, fornece um pouco mais de possibilidades para os desenvolvedores que o utilizam, possuindo quatro tipos de frames, sendo eles o UID (identificador de usuário), identificador com características

parecidas com o UUID (identificador universal único) da Apple, URL (localização uniforme de recursos) ao qual transmite uma seleção de dados que serve para ser integrada com a abertura automática de sites, a TML disponibiliza informações como nível de bateria, giroscópio e sensor de luminosidade e o último, o EID que utiliza métodos de criptografia para dificultar ataques à infraestrutura do Beacon (DASGUPTA, NAGARAJ, NAGAMANI, 2016).

Para realizar o monitoramento do engate e desengate de equipamentos utilizando o Beacon, faz-se necessário um dispositivo que possui comunicação BLE para receber as mensagens enviadas por ele.

A ESP32 além de possuir tal comunicação, é um dispositivo reconhecido pelo mercado e ainda usual nas soluções dentro da Solinftec, dessa forma, tal controlador seria a melhor escolha para ser implementado como receptor das informações.

### 2.6.3 ESP32

A ESP32 é um dispositivo que possui um microprocessador de baixa potência com dual core Tensilica Xtensa 32-bit LX6 com suporte embutido à rede *WiFi*, *Bluetooth* v4.2 e memória *flash* integrada. Com essas modulações traz diversas possibilidades para geração de projetos (ESPRESSIF, 2022).

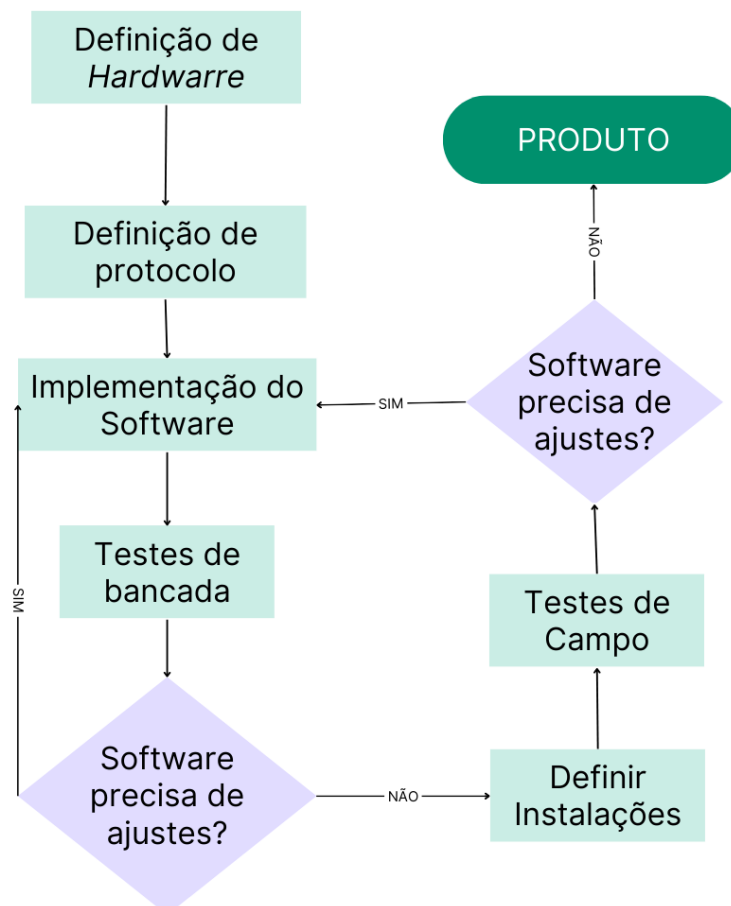
Dentre as principais características deste dispositivo, pode-se citar o baixo consumo de energia, alto desempenho de potência, amplificador de baixo ruído, robustez, versatilidade e confiabilidade (ESPRESSIF, 2022).



### 3 METODOLOGIA

Após efetuada toda a discussão e explicação para introduzir o problema, faz-se necessário explicar como a solução foi realizada e todos os porquês das escolhas de *hardware* e *software*, essas informações estão dispostas no Diagrama 1

**Diagrama 1 - Definições gerais de metodologia utilizada**



Fonte: Autoria própria (2023)

#### 3.1 Justificativa

Dois são os problemas principais verificados pela utilização do sensor indutivo, o primeiro era o rompimento dos cabos, fato que acontece pela fricção dos mesmos no decorrer do tempo em função do cenário desfavorável e o segundo caso é o desalinhamento do sensor que, como já comentado, acontece no momento em que acontece erros no processo mecânico de engate.

O problema a ser solucionado para o *hidro roll* é de fazer a rastreabilidade do caminho onde o trator reboque fez o estiramento do bico aspersor. Assim, sabendo o momento em que o bico aspersor está engatado, juntamente com os dados de GPS do trator, é possível saber a distância percorrida, a quantidade de insumos utilizado e a área de aplicação.

Como o monitoramento do *hidro roll* é um projeto que está em fase de criação, ainda não existia um método conceituado e, dessa forma, a preferência era utilizar o mesmo sistema que fosse criado para o engate do caminhão.

Como já mencionado, devido a diversos fatores, os lugares de cultivo apresentam condições adversas, sendo propensos a problemas em dispositivos eletrônicos, assim, para minimizar possíveis danos, definiu-se que seria necessário a utilização de equipamentos sem fio, que apresentasse baixo índice de manutenção e com uma bateria que durasse uma safra completa (aproximadamente oito meses).

Para suprir todas as necessidades listadas, juntamente com a análise de dispositivos já utilizados pela empresa, resolveu-se utilizar um dispositivo bastante conhecido nos projetos de *Internet of Things* (IoT), o Beacon juntamente com a placa de desenvolvimento ESP32.

### **3.2 Hardware**

Em relação ao *hardware* geral do projeto, inicialmente foi pensado em utilizar diversos tipos de soluções, entre elas o infravermelho e o ultrassom. O modo funcional de ambos possui grande familiaridade, diferenciando-se na arquitetura da emissão e da recepção do sinal.

O modo de trabalho dos dois sensores é realizado com a emissão de um sinal, seja infravermelho ou ultrassônico, esse sinal colide com um obstáculo e volta para um receptor. Ao realizar a análise do tempo do eco deste sinal, pode-se definir a distância em que se encontra o obstáculo (SOARES *et al.*, 2012).

O maior problema deste tipo de sensor acontece pois, como é um local com alto índice de poeira e o sensor fica exposto ao ambiente, o emissor fica obstruído e perde a qualidade no envio do sinal, colidindo com a própria barreira de sujeira e confundindo o equipamento. Outro ponto importante é que como existe muitos impactos entre os equipamentos no momento de engate, pode ocorrer o desalinhamento do sensor.

A opção de utilizar o Beacon com a ESP32, apresentou duas vantagens em relação a outras opções de mercado, a primeira seria a utilização do protocolo BLE, que diferente dos sensores citados acima, não é barrado por uma camada de poeira e também por serem dois componentes em que a empresa já possuía em estoque, pois utiliza em outras soluções, facilitando o processo de importação.

Outras funcionalidades do Beacon juntamente com o receptor, é que por possuir um protocolo robusto, está disponível para utilização diversas outras informações como nível de bateria, numeração de frota de cada carreta, entre outros.

Após a decisão de qual *hardware* utilizar, duas decisões deveriam ser tomadas, sendo a primeira, qual Beacon utilizar (sabendo que existem diversos no mercado) e o segundo são quais as necessidades para o funcionamento de um controlador ESP32.

Inicialmente para estudos internos, foi realizado análise de Beacons da fabricante Minew e assim começaram os testes de robustez para o campo, como testes de bateria, robustez de carcaça e mapeamento da distância para envio de informações.

Em relação a bateria, o fabricante forneceu uma garantia de duração de 3 anos, ultrapassando o limite mínimo necessário que seria de uma safra (aproximadamente 8 meses). Outro fato em relação a bateria é que, mesmo depois que o Beacon seja instalado, a troca de bateria pode ser facilmente efetuada, sabendo que a mesma pode ser encontrada no mercado local e para fazer a troca é necessário somente retirar 4 parafusos, como visto na Imagem 1.

**Imagem 1 - Sinalização de parafusos do Beacon**

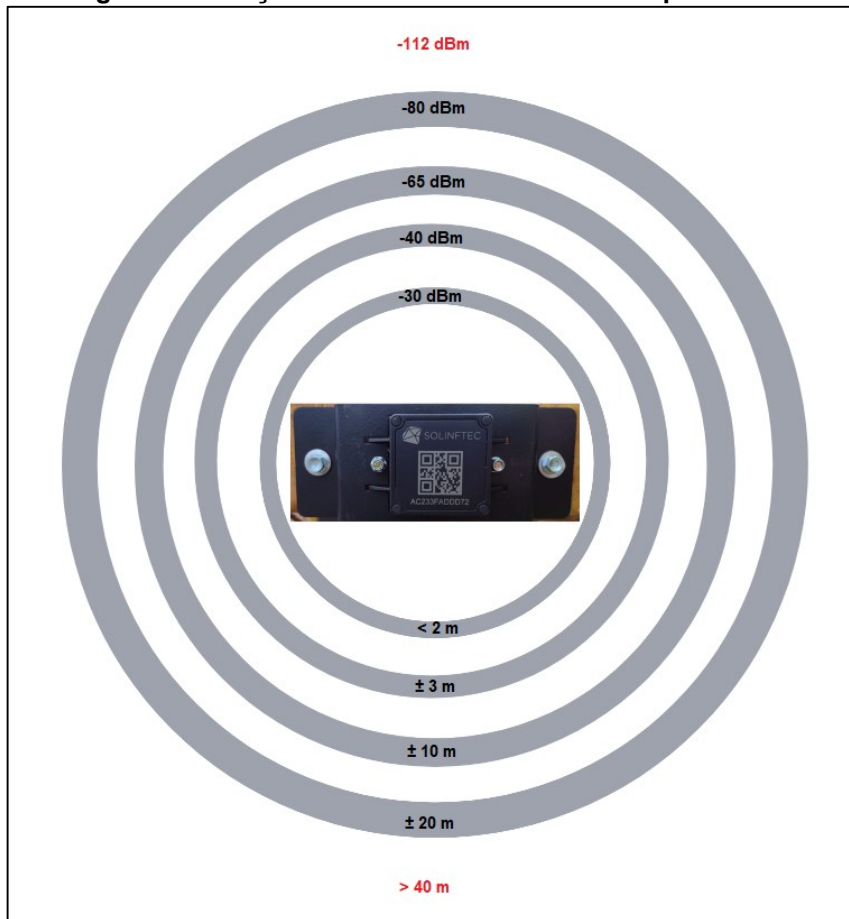


**Fonte: Autoria própria (2023)**

Em relação a robustez do produto, a estrutura é feita com certificação IP67, que representa proteção total contra poeira e também proteção contra imersão temporária de água (1 metro por 30 minutos).

Em relação as distâncias estudadas, foi verificado que os índices de RSSI, variavam de aproximadamente -30 dBm como melhor sinal até -112 dBm como pior sinal, em relação as distâncias que se estavam em um intervalo de 2 a 40 m. Tais valores foram encontrados em testes sem obstrução, ou seja, sem nenhum objeto entre o receptor e o emissor. Os dados encontrados são relacionados com as distâncias na Figura 1.

**Figura 1 - Relação de intensidade e distância aproximada**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Para o projeto em questão, as distâncias mais importantes são do intervalo entre 2 e 3 metros.

Em paralelo com esses testes, verificou-se que já existia um hardware específico da Solinftec que atendia a maioria das necessidades para a utilização do controlador escolhido, precisando assim de poucas alterações funcionais. Esse conjunto já fazia a redução para a tensão para 3.3 V (necessária para ESP32) e já possuía chicotes preparados para realizar a troca de mensagens seriais com o computador de bordo do trator.

### **3.3 Protocolo**

O beacon escolhido é bem-conceituado no mercado e nele existem outros protocolos além dos já mencionados, iBeacon e Eddystone. Fazendo com que o mesmo beacon possa ser utilizado em projetos diferentes.

O protocolo que foi utilizado, faz parte do Eddystone. Em reuniões de planejamentos foram definidas que algumas informações além de distância de aproximação eram necessárias, como o nível de bateria do Beacon e um identificador, assim, tal protocolo se encaixava melhor para esse tipo de solução.

Juntamente com o protocolo, precisou ser definido qual o ciclo de mensagens enviadas pelos Beacons. Levando em consideração a necessidade de economia de bateria e entendendo as necessidades da implementação da lógica no receptor, foi definido que seria 500 ms.

Por fim, cada Beacon instalado ficaria mandando informações de nível de bateria e identificador da carreta a cada 500 ms.

### **3.4 Software**

A criação do software foi a parte mais importante para a resolução do problema, serve como uma ponte para unir todas as necessidades listadas anteriormente. A execução da programação teve como objetivo implementar o recebimento de mensagens do Beacon, realizar a análise dos dados e definir se um equipamento está fazendo um engate ou um desengate.

A estrutura geral da programação para o caminhão e para o *hidro roll* é a mesma, se diferenciando nos detalhes de cada aplicação.

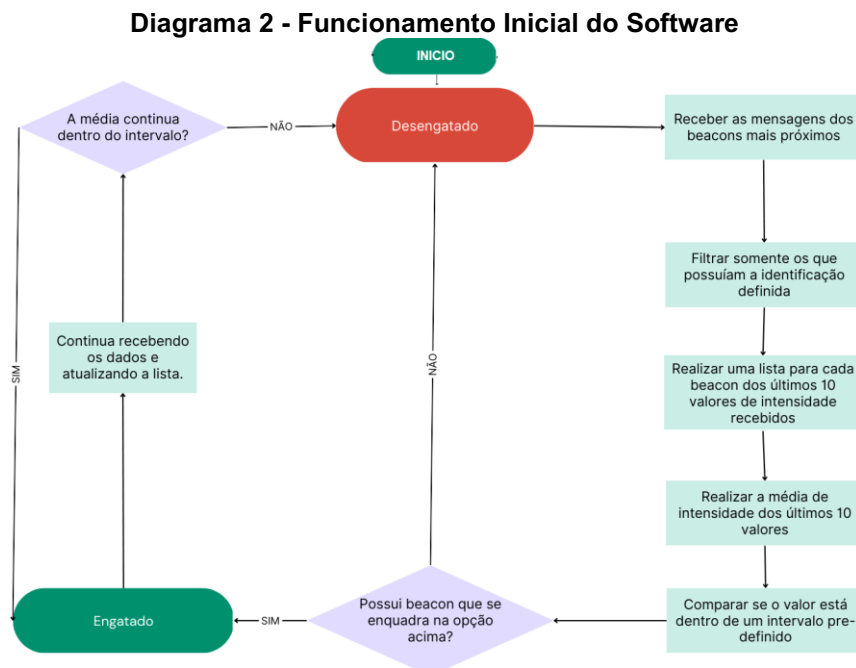
Muitos objetos eletrônicos possuem a tecnologia BLE, como por exemplo relógios *smartwatch* e celulares. Para que o sistema consiga fazer a diferenciação dos Beacons para esses outros dispositivos, criou-se um identificador padrão igual para todos os Beacons, para que facilitasse a construção de um filtro.

Esta etapa foi feita diretamente com o fabricante, e conseqüentemente esse dado veio inserido direto de fábrica. Em *firmware*, criei um filtro em que selecionasse somente os dados do identificador escolhido.

Após a primeira filtragem realizada, foi necessário o estudo dos protocolos informados anteriormente para saber em quais posições da mensagem vinham os dados necessários para a aplicação.

Além do identificador padrão já mencionado, o Beacon traz um identificador próprio para se diferenciar dos demais, além de valores de intensidade de sinal e número de frota. Cada identificador é vinculado com uma frota de um equipamento e somente irá ser trocado por alguma danificação séria.

Com todas as informações mapeadas, iniciou realmente a programação lógica da controladora, ao qual seguiu o algoritmo disposto no Diagrama 2:



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Inicialmente o algoritmo reconhece o equipamento como desengatado e fica recebendo as mensagens de todos os Beacons que se encontram próximos a ele. Cada mensagem é filtrada, verificando se possui o identificador definido.

Após filtrada, o algoritmo adiciona o valor de intensidade de sinal em uma lista. Cada Beacon possui uma lista de tamanho 10 e trabalha no formato *First In First Out* (FIFO).

Quando a lista preenche os 10 valores, é realizada uma média aritmética. Caso o módulo da média seja menor que um valor definido em firmware (valor inicialmente foi definido como 65 dBm utilizando a Figura 1), o equipamento que possui o Beacon correspondente é considerado engatado.

A lista de intensidades continua sendo atualizada mesmo depois do engate, pois quando for verificado que o módulo da média passe a ser maior que o valor definido, ocorre o desengate.

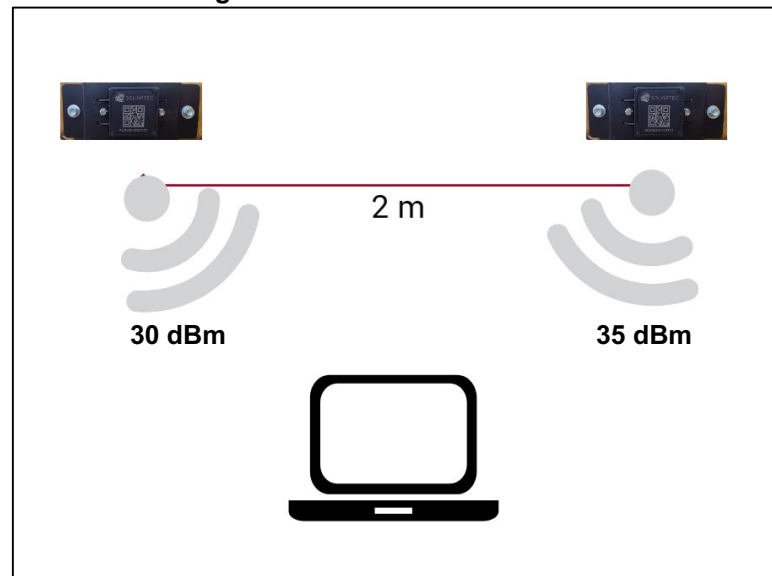
#### 3.4.1 Testes Iniciais de *Software*

A realização dos testes iniciais foi feita em laboratório e de forma simplificada. Foram colados Beacons em uma parede a uma distância de 2 metros, fazendo a aproximação e o afastamento manual do receptor.

Um primeiro fato agravante era que o sistema levava em consideração somente o primeiro dispositivo que obtivesse a média dentro dos valores predefinidos, gerando assim um erro quando mais de um Beacon apresentasse valores de intensidades dentro das definições.

Um segundo problema encontrado era de que as intensidades dos Beacons possuíam variação entre eles, ou seja, dois dispositivos com a mesma distância do receptor podem gerar intensidades diferentes, acontecendo o entendimento errôneo do sistema no geral, demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Testes iniciais Beacon



Fonte: Autoria própria (2023)

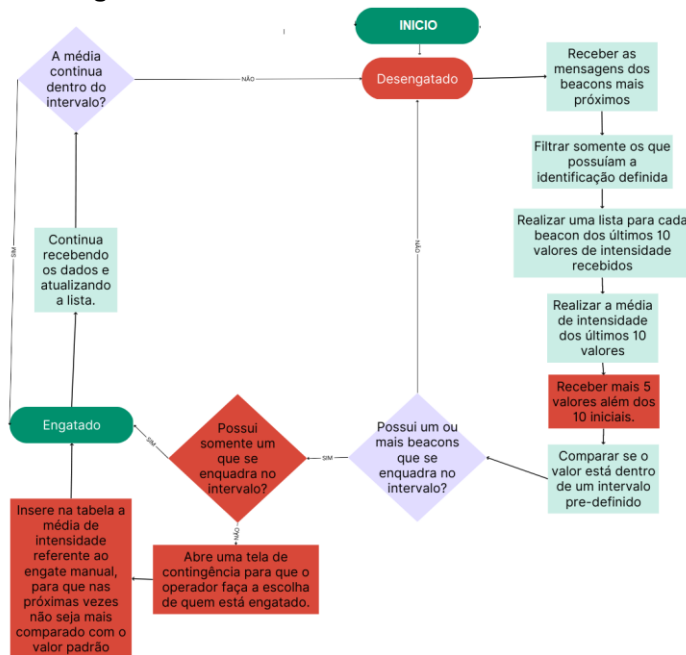
Os dois problemas listados, deveriam ser corrigidos para que pudessem serem efetuado os testes em campo.

#### 3.4.2 Ajustes de *firmware* e criação de tela de contingência.

Para solucionar os problemas encontrados nos testes iniciais, decidiu-se realizar dois ajustes em *firmware*, criar uma tabela que atualiza o valor de referência para se ajustar com os Beacons que possuem intensidades diferentes e também fazer uma verificação em todos os Beacons para certificar que somente um estaria em condições para engate, utilizando uma tela de contingência, como mostrado no diagrama 3.



Diagrama 3 - Funcionamento Final do Software



Fonte: Autoria própria (2023)

A primeira modificação que fiz, foi o acréscimo da lógica de que, para que um Beacon seja considerado engate, além dos 10 valores que anteriormente precisava enviar para completar a tabela, agora ele deveria enviar mais 5, excluindo os 5 primeiros valores recebidos.

Após efetuado o processo descrito acima, é realizado a média aritmética e verifica-se se o módulo do valor é menor que o dado de referência escolhido anteriormente. Caso sim, o sistema verifica todos os Beacons que já possuem suas tabelas completas (ou seja, tenha recebido pelo menos 10 mensagens).

Caso tiver mais de um Beacon com possibilidades de ser engatado, como o sistema não tem condições de definir, sabendo que a relação de intensidade de sinal e distância não é padronizado para todos, deve-se abrir uma tela de contingência e pedir para que o usuário escolha a opção correta, como na Figura 3.

**Figura 3 - Tela de contingência**

The image shows a mobile application interface for 'Caminhão'. At the top, there is a blue header bar with a small logo and the text 'Caminhão'. Below this, the main area is light gray and contains two radio button options. The first option is '50000 - 50001 - 50002 - 50003 - 50004' and the second is '4000 - 4001 - 4002 - 4003 - 4004'. At the bottom of the screen, there is a blue bar with the text 'SALVAR' in white capital letters.

**Fonte: Aatoria própria (2022)**

A tela de contingência não foi feita por mim, pois existe uma equipe especializada na realização de alterações no aplicativo. O trabalho compartilhado foi realizado para fazer a integração de mensagens entre o meu *firmware* e a tela criada por eles.

Quando o operador faz a escolha de qual equipamento deve ser engatado, o sistema verifica se diferencia do dado de referência pré-estabelecido, caso sim, é inserido em uma tabela referente a todos os Beacons, o identificador do Beacon e também a média da intensidade ao qual ele foi engatado.

Nas próximas vezes que o mesmo Beacon for verificado, ou até mesmo quando alguma carreta próxima vai ser engatada, esse dispositivo não se comparará ao valor de referência inicial, mas sim ao atualizado, fazendo com que o sistema tenha uma precisão cada vez mais assertiva.

#### 3.4.3 Testes Finais de *Software*

Com todas as modificações de *firmware* e aplicativo realizadas, voltou-se para a parte de testes em bancada e conseqüentemente evoluindo para os testes em campo.

Nos Quadros 2, 3 e 4, pode ser verificada a lógica programada e também como a tabela referencial se comporta com o decorrer da aplicação. Primeiramente, é

verificada a tabela inicial, ao qual foram inseridos os valores padrão de intensidade, exemplificados no Quadro 2.

**Quadro 2 - Exemplo da tabela referencial de 3 beacons**

IDENTIFICADOR DO BEACON	INTENSIDADE DO SINAL
BEACON 1	-65 dBmm
BEACON 2	-65 dBmm
BEACON 3	-65 dBmm

Fonte: Autoria própria (2023)

Quando ocorre o recebimento dos valores de intensidade e é feita a média, os valores ficam guardados como no Quadro 3.

**Quadro 3 - Lista dos valores de intensidade e sua media em dBm**

BEACON	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA
1	-52	-55	-51	-54	-50	-68	-50	-54	-56	-55	<b>-54</b>
2	-60	-54	-60	-65	-68	-70	-78	-75	-62	-70	<b>-66</b>
3	-43	-45	-41	-46	-50	-47	-48	-40	-38	-45	<b>-44</b>

Fonte: Autoria própria (2022)

Como neste caso, duas opções estavam dentro do intervalo definido como possíveis engates, abriu-se a tela de contingência e apresentando os valores dos Beacons 1 e 3.

Após abrir a tela de contingência, o operador faz a escolha (neste caso foi escolhido o Beacon número 3), e o valor de média de intensidade do Beacon selecionado é guardado na memória, como na Quadro 4.

**Quadro 4 - Alterações na tabela referencial**

IDENTIFICADOR DO BEACON	INTENSIDADE DO SINAL
BEACON 1	-65 dBmm
BEACON 2	-65 dBmm
BEACON 3	<b>-53 dBmm</b>

Fonte: Autoria própria (2023)

Pode-se notar que o valor guardado na tabela não é exatamente o valor da média encontrado. Como guardar o valor com exatidão pode causar falhas nos

próximos engates, optou por adicionar um coeficiente de 20% no valor final antes de ser inserido.

### 3.5 Instalações e testes em campo (Caminhão Canavieiro)

A ideia principal de instalação para solucionar o problema de engate e desengate é bem simples, no caso do ciclo do caminhão, foi instalar um Beacon na parte frontal da carreta e um receptor (ESP32) na parte traseira do caminhão, ilustrado na Figura 4, assim, quando houvesse uma diminuição da distância entre eles, pelos sinais de proximidade recebidos, definiria se teria acontecido um sinal de engate ou desengate.

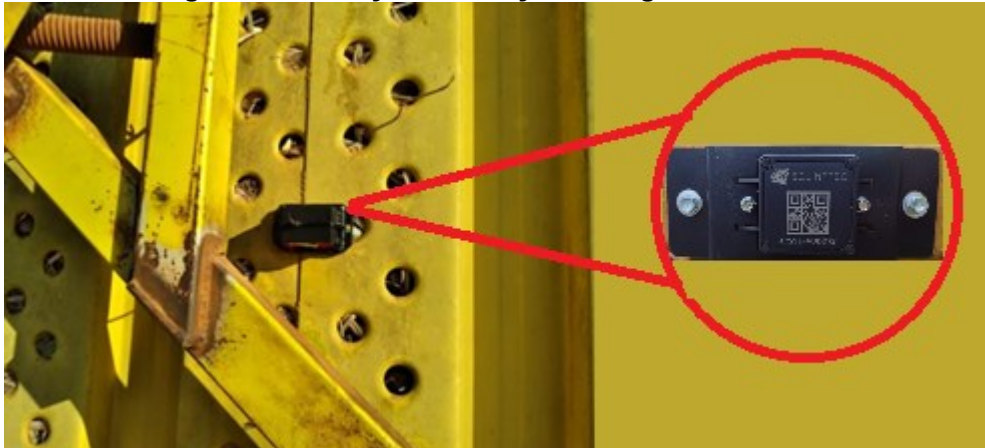
Figura 4 - Engate do caminhão canavieiro



Fonte: Autoria própria (2023)

Os primeiros passos para se conseguir fazer os testes do engate e desengate das carretas, foi fazer a instalação tanto do receptor quanto do Beacon. As instalações foram feitas de forma que ficaram coladas no caminhão e fixadas na carreta, como na Imagem 2 e Imagem 3.

**Imagem 2 - Instalação da solução no engate nas carretas**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Imagem 3 - Instalação da solução no engate no caminhão**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

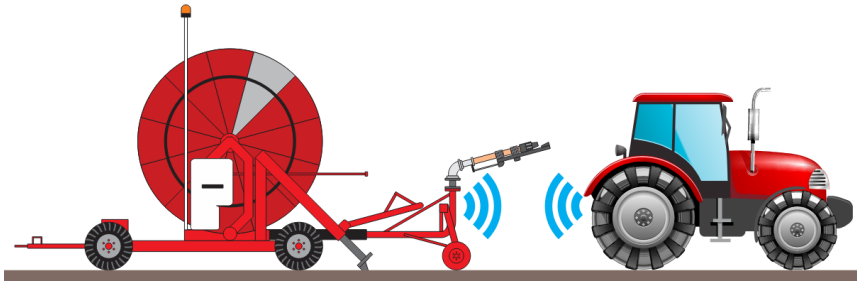
Os testes que foram feitos para verificar a aderência do projeto, iniciando o processo normal de trabalho do operador, fazia-se o acompanhamento dentro do caminhão e, quando era realizado o processo de engate ou desengate, era conferido de forma visual se o sistema respondia de forma coerente.

Caso acontecesse de o sistema selecionar mais de uma carreta, o aplicativo mostra a tela de contingência e o operador deve selecionar qual o conjunto em que ele está engatando.

### 3.6 Instalações e testes em campo (*Hidro Roll*)

Para a solução de engate do fertirrigação, a instalação foi feita de forma bem parecida, foi instalado o Beacon no suporte que segura o bico aspersor e o controlador no vidro traseiro do trator reboque, como na Figura 5.

Figura 5 - Engate do Hidro Roll



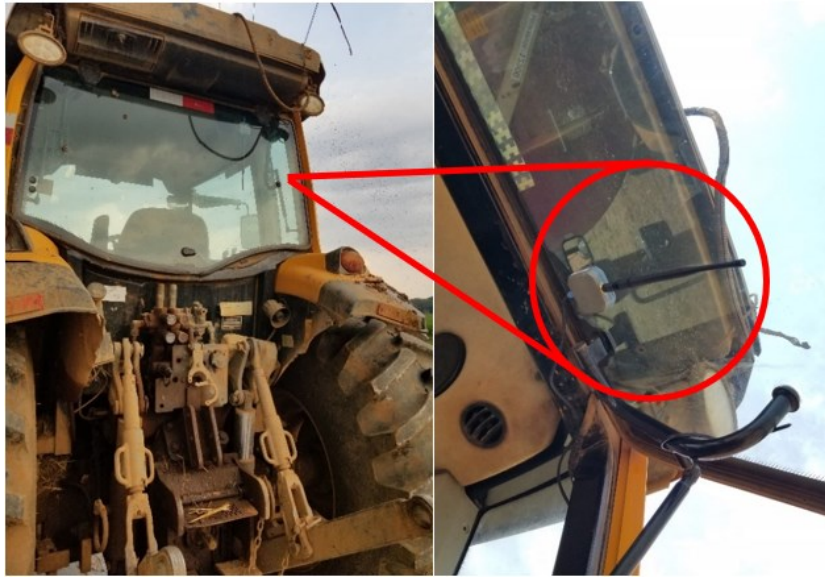
Fonte: Autoria própria (2022)

Assim como as instalações do receptor e do Beacon para as carretas, as instalações para testar o sistema de arraste para o fertirrigação seguiu os mesmos parâmetros. Os componentes foram inseridos tanto na carcaça do bico aspersor como também internamente no vidro traseiro do trator reboque, como na Imagem 4 e Imagem 5.

Imagem 4 - Instalação sistema no Hidro roll



Fonte: Autoria própria (2022)

**Imagem 5 - Instalação Trator**

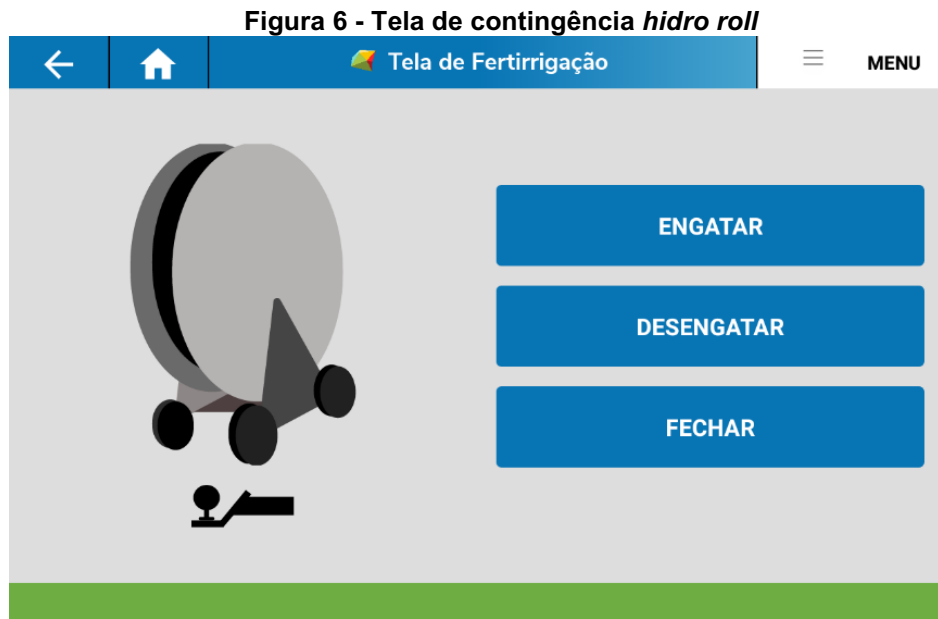
**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Os testes em campo para o *hidro roll*, aconteceram de forma mais rápida e concisa, pois tal projeto estava com um alto grau de priorização. Tais testes foram realizados na Usina Jalles Machado, na cidade de Goianésia-GO.

Inicialmente, o sistema não possuía uma forma de verificar os dados de forma remota, assim, a única forma de validar a solução era acompanhar juntamente com o operador a realização das atividades de estiramento.

Toda solução está sujeita a falhas, seja uma antena com problemas, um cabo rompido ou até mesmo um componente queimado. Como esta solução também estava suscetível a problemas, para corrigir qualquer possibilidade, preferiu-se criar uma tela de contingência manual.

A Figura 6 demonstra tal tela de contingência, a mesma serve para que, quando o sistema de engate e desengate não responda de forma coerente, para que o operador possa fazer o engate e desengate normal sem atrapalhar o fluxo da operação.



Fonte: Autoria própria (2022)



## 4 RESULTADOS

Com a finalização dos testes em campo, foi possível obter alguns resultados em relação a solução pré-existente. Como são duas aplicações com aspectos diferentes, a melhor escolha era falar sobre cada uma delas de forma isolada, mostrando os pontos de melhorias.

### 4.1 Caminhão Canavieiro

O primeiro ponto a ser discutido como uma grande melhora no sistema é o tempo de instalação. Como mencionado durante o trabalho, a instalação da aplicação deixou de ser feita de modo cabeada, ou seja, não é mais necessário levar os cabos de alimentação e comunicação até o sensor na carreta e passou a ter uma comunicação sem fio, sendo uma instalação mais ágil e facilitada.

Considerando as primeiras instalações e levando em conta o aprendizado de pessoas capacitadas para realiza-la, a instalação obteve uma queda considerável em seu tempo médio, diminuindo de 90 minutos para aproximadamente 60 minutos. Tal diminuição auxilia não só na realização de mais instalações no mesmo período, mas também contribui na diminuição de gastos de viagens e funcionários.

Outro ponto bastante agravante que foi verificado na utilização de sensores indutivos e foram solucionados nessa nova aplicação, eram as falhas de comunicação. Essas falhas aconteciam normalmente por dois motivos, o desalinhamento do sensor ou o rompimento dos cabos. Com a utilização do Beacon, os dois problemas foram solucionados, resultando em menor taxa de manutenção e consequentemente diminuição no custo.

Como mencionado no trabalho, a solução abordada possui grande aderência para a solução, podendo gerar falhas no engate e desengate somente por problemas de *hardware* como má instalação, falta de bateria entre outros. Pois a lógica da programação foi verificada para cobrir todas as possíveis falhas conhecidas.

Uma das falhas que o novo processo gerou e também foi comentado durante a texto, era o engate equivocado de uma carreta por problemas de intensidade de sinais do Beacon. Para solucionar, além de ajustes que fiz na lógica, fez-se necessário a criação de uma tela de contingência.

A tela de contingência, não era necessária na aplicação antiga, pois seu sistema era em sua maior parte mecânico. Para a nova solução ela ficou indispensável

pois auxilia na organização e validação das intensidades do Beacon e consequentemente ajudou em elevar a aderência da solução.

A solução de engate e desengate é uma parte de um sistema altamente complexo, ao qual se utiliza de sensores, rede CAN, computador de bordo entre outros. Como mencionado, para que fosse realizado os testes em campo, toda a comunicação entre os periféricos deveria estar efetuada.

A figura 7 mostra a tela de navegação do computador de bordo funcionando com a solução de engate e desengate de equipamentos. Nesta tela é possível verificar no canto inferior esquerdo os números de frota das carretas engatadas no caminhão (valores fictícios para testar o sistema).



**Fonte: A autoria própria (2022)**

Quando houver o desengate das carretas, o mesmo campo da Imagem 5, ficará vazio. Além do sistema mostrar de forma visual o engate e desengate, existe uma forma online de apresentar esses dados, dessa forma, todo o processo pode ser verificado remotamente.

## 4.2 Hidro Roll

Diferente da solução apresentada para o engate de caminhões canavieiros, não existe uma comparação palpável a se fazer em relação aos *hidro roll*, podendo trazer somente os pontos de funcionamento e falhas.

Os testes realizados em Goianésia-GO, mostraram pontos importantes de melhoria para a solução. Como já mencionado, a aplicação inicialmente precisava fazer o engate e desengate automático do trator reboque.

A lógica realizada para resolver tal problema, foi baseada no código inicial de engate e desengate das carretas, não necessitando das etapas de filtro secundário, pois nunca irá ter dois *hidro roll* no mesmo cenário.

Existiram dois pontos a serem melhorados e ao qual já foram corrigidos. O primeiro foi a definição dos tempos de mensagens, pois inicialmente esses tempos estavam longos, ao qual fazia com que demorasse um tempo muito maior para acontecer o desengate, gerando dados incoerentes com o tamanho da mangueira de aspersão.

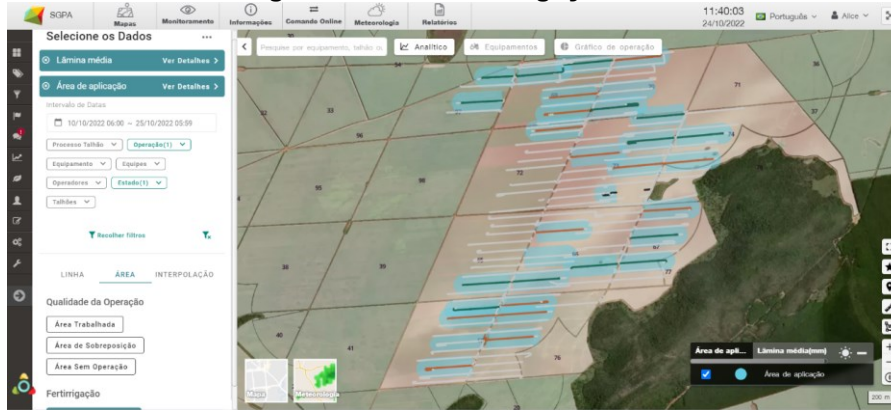
O segundo problema eram as intensidades de sinal. Em alguns casos acontecia o desengate involuntário, pois recebia alguns dados inválidos e reconhecia como desengate.

Com todos os problemas resolvidos, os novos testes apresentaram resultados satisfatórios para a aplicação, ou seja, durante uma semana de testes em campo, todos os equipamentos instalados realizaram o processo de engate e desengate corretamente.

Como os testes eram longe da cidade de Araçatuba (sede da Solinftec), foi necessário que os dados de toda a aplicação fossem integrados com o sistema e conseqüentemente pudesse ser verificada remotamente.

Com o auxílio dos times responsáveis por todas as aplicações do sistema, foi efetuado tal interligação, ao qual os dados da programação do engate e desengate realizado por mim, chegavam até a interface online, conseguindo assim informar de forma visual tanto as informações de irrigação, como também as distâncias que são geradas pelo engate e desengate.

**Imagem 6 - Rastro de irrigação do *hidro roll***



**Fonte: Autoria própria (2022)**

A integração entre o sistema resultou na imagem 6. Na imagem é possível verificar algumas linhas em colorido e também um sombreado em seu contorno. As linhas representam as distancias realizadas pelo trator reboque ao puxar o bico aspersor até o ponto destino e o contorno em azul claro representa toda a área que foi coberta pela aspersão do *hidro roll*.

A implementação do projeto, gerou resultados satisfatórios, pois a partir do engate e desengate juntamente com outros sensores, foi possível resolver o problema da usina e conseqüentemente gerou os dados para facilitar a tomada de decisões em relação as irrigações.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de tecnologias IoT voltadas para o agronegócio está ganhando cada vez mais espaço. Essa inserção se torna muito importante para a evolução do cenário e faz com que cada vez mais novas soluções sejam criadas.

Além da tecnologia Beacon e protocolo BLE mencionados nesse trabalho, existe uma diversidade de novas tecnologias surgindo e, se analisadas juntamente com as necessidades do campo, possuem potencial de resolver muitos problemas encontrados e assim facilitar e auxiliar o trabalho das pessoas.

A junção entre a tecnologia beacon e o receptor ESP32 foram uma forma simples e bastante completa para resolver o problema proposto, trazendo uma robustez e confiabilidade para os dados gerados, como apresentado na sessão de resultados.

Com a finalização da implementação e tendo de forma assertiva uma solução para o engate e desengate de caminhões canavieiros, os próximos passos foram começando a surgir, com possibilidades de acrescentar outras informações para o sistema.

A utilização do Beacon, como já mencionado, agrega para o sistema informações que antes não era possível de se conseguir automaticamente. Tais dados são disponibilizados pela troca de mensagens que o Beacon faz com o receptor e geram a possibilidade de implementar outras resoluções. Algumas dessas implementações estão sendo efetuadas pelas equipes da Solinftec para que cada vez mais soluções sejam criadas usando esta tecnologia.

Para o segundo semestre de 2023 possivelmente as soluções apresentadas neste trabalho se tornarão produtos dentro dos oferecidos pela Solinftec. Mostrando assim a importância e também o grau de aceitação da solução perante ao mercado de tecnologias para a cana de açúcar.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, E. A. *et al.* **Irrigação com vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: efeitos sobre o crescimento vegetativo e produtividade.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 23, n. 5, p. 313-318, 2019.
- BERNARDI, A. C. *et al.* (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.** Brasília, DF: Embrapa, 2014.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.
- BLUETOOTH. **The Evolution Of Bluetooth To Becoming A Low-Power Protocol.** Disponível em: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/the-evolution-of-bluetooth-to-becoming-a-low-power-protocol/>. Acesso em: 18 dezembro 2022.
- BORIC, M.; REDONDO, R. P. D.; VILAS, A. F., **Dynamic Content Distribution over BLE iBeacon Technology: Implementation Challenges.** 5th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). pp. 910-915, 2018.
- BRAUNBACK, O. A. e OLIVEIRA, J. T. A. **Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico.** *Engenharia Agrícola* [online]. 2006, v. 26, n. 1, pp. 300-308. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100032>. Acesso em: 20 dezembro 2023.
- CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB DO AGRONEGOCIO BRASILEIRO.** São Paulo: Piracicaba, 2022. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx#:~:text=Considerando%2Dse%20os%20desempenhos%20da,pecu%C3%A1rio%20avan%C3%A7ou%202%2C11%25>. Acesso em: 15 abril 2023.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras. Cana-de-açúcar-Industria.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 27 dezembro 2022.
- DASGUPTA A.; NAGARAJ R.; NAGAMANI K. **An Internet of Things Platform with Google Eddystone Beacons.** *Journal of Software Engineering and Applications*, 9, 291-295. 2016.
- DELGADO, J. J.; PARDO, J. M.; SAIZ, P. **Distance Estimation in Indoor Environments Using Bluetooth Low Energy Beacons.** *Sensors*, [S.l.], v. 18, n. 7, p. 2258, jul. 2018. ISSN 1424-8220. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/7/2258>. Acesso em: 20 abril 2023.
- ESPRESSIF. **ESP32.** Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Acesso em: 19 dezembro 2022.
- GENTIL, L.V.; FERREIRA, S.M. **Agricultura de precisão: Prepare-se para o futuro, mas com os pés no chão.** *Revista A Granja*, Porto Alegre, n. 610, 1999, p. 12-17.

GIACHINI, C.F.; FERRAZ, M.V. **Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar - revisão de literatura**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia. Ano VII – Número 15 – Junho de 2009 – Periódicos Semestrais.

LEKSONO, A.; PURWANTO, M. A.; SUHARJITO, D. **Design and Implementation of Bluetooth Low Energy (BLE) Beacons for Indoor Positioning System (IPS)**. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, [S.l.], v. 10, n. 5, p. 542-549, 2019. Disponível em: <http://thesai.org/Publications/ViewIssue?volume=10&issue=5&code=IJACSA>. Acesso em: 20 novembro 2022.

LIMA, J. C. *et al.* **Performance analysis of sugar cane transport cycles**. Ciência e Agrotecnologia, v. 41, n. 6, p. 633-641, nov./dez. 2017.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2009. 355p.

MARTINS, Y. A M.; OLIVEIRA, C. F. **Uso da vinhaça via fertirrigação por sistema de irrigação**. Santa Helena de Góias: Jornada Acadêmica UEG, v. 5, n. 1, 2011.

MENEGATTI, L. A. A. *et al.* **BENEFÍCIOS ECONÔMICOS E AGRONÔMICOS DA ADOÇÃO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO EM USINAS DE AÇÚCAR**, 2º Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão São Pedro, SP – ESALQ/USP., 2006.

ORACLE. **O que é IoT?** Disponível em: <https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot>. Acesso em: 20 dezembro 2022.

ROCHA, A. F. *et al.* **Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido**. Irriga, v. 10, n. 1, p. 96-106, 2005

MOREIRA, V. R.; KURESKI, R.; VEIGA, C. P. da. **Assessment of the Economic Structure of Brazilian Agribusiness**. ScientificWorldJournal, 2016.

SANDRI, D.; CORTEZ D. A. **Parameters of performance of sixteen center-pivot irrigation equipments**, 2008.

SHAFI, U. *et al.* **Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications**. Sensors (Basel), 2019.

SILVA, M. A. S. da; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 11, n. 1, p. 108–114, 2007.

SOARES, L. A.; VIEIRA, J. C.; KAWANO, A. **Utilização de sensores ultrassom e infravermelho para medição de distância em ambientes internos**. Revista de Eletrônica e Computação, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 37-42, 2012. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/reec/article/view/3338/2499>. Acesso em: 24 novembro 2023.

SOLINFTEC. **Sobre**. Disponível em: [www.solinftec.com/pt-br/sobre-2/#](http://www.solinftec.com/pt-br/sobre-2/#). Acesso em: 25 dezembro 2022.

SOUSA, Z. M. *et al.* **Multiline sugarcane planting and its effects on productivity and plant development.** *Bragantia*, Campinas, v. 78, n. 2, p. 214-221, 2019.

SWINTON, S.M.; LOWENBERG-DEBOER, J. **Evaluating the profitability of site-specific farming.** *Journal of Production Agriculture*, Madison, v. 11, n. 4, p. 439-446, 1998.

TOSI, J. *et al.* **Performance Evaluation of Bluetooth Low Energy: A Systematic Review.** *Sensors (Basel)*, 2017.

UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR E BIOENERGIA. **Safra 2021/2022 processa 523 milhões de toneladas de cana.** Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/safra-2021-2022-processa-523-milhoes-de-toneladas-de-cana>. Acesso em: 20 dezembro 2022.

VERMA, K.K. *et al.* **Impact of Agroclimatic Variables on Proteogenomics in Sugar Cane.** *Plant Productivity. ACS Omega*, 2022.

VIANNA, H. F. *et al.* **Optimization of transshipment location and sugarcane transportation routing: A case study in Brazil.** *Computers & Industrial Engineering*, v. 145, p. 106670, 2020.

WANG, E. *et al.* **Development of a closed-loop irrigation system for sugarcane farms using the Internet of Things.** *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 172, 2020.

WANG, S.; ZHANG, K.; LI, Z. **Indoor Localization Using GPS Signal Attenuation and Particle Swarm Optimization.** *Sensors (MDPI)*, Basel, v. 14, n. 6, p. 11012-11027, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s140611012>. Acesso em: 20 novembro 2022.

YOGITHA B. *et al.* **Progress of sugarcane bagasse ash applications in production of Eco-Friendly concrete – Review.** *Materials Today: Proceedings*, 2020.

ZHUANG, Y. *et al.* **Bluetooth Localization Technology: Principles, Applications, and Future Trends.** *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 23, pp. 23506-23524, 2022.