



VINÍCIUS VIVARELLI BARBOZA

**UTILIZAÇÃO DE ARMADILHAS INTELIGENTES PARA A
DETECÇÃO DE PSILÍDEOS EM LAVOURAS DE CITROS:
ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

**LAVRAS – MG
2023**

VINÍCIUS VIVARELLI BARBOZA

**UTILIZAÇÃO DE ARMADILHAS INTELIGENTES PARA A DETECÇÃO
DE PSILÍDEOS EM LAVOURAS DE CITROS: ANÁLISE DE VIABILIDADE
ECONÔMICA**

Concepção Básica apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Dimitri Campos Viana
Orientador

LAVRAS – MG

2023

VINÍCIUS VIVARELLI BARBOZA

**UTILIZAÇÃO DE ARMADILHAS INTELIGENTES PARA A DETECÇÃO
DE PSILÍDEOS EM LAVOURAS DE CITROS: ANÁLISE DE VIABILIDADE
ECONÔMICA**

Concepção Básica apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 11 de dezembro de 2023.
Dr. Dimitri Campos Viana UFLA
Dr. André Luis Ribeiro Lima UFLA
Bel. João Paulo Costa Araujo TERRA VIVA

Prof. Dr. Dimitri Campos Viana
Orientador

LAVRAS – MG

2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, por sempre me abençoar e me proteger, guiando-me pelo caminho correto e ajudando-me a superar todos os obstáculos ao longo da vida.

Com muito amor e gratidão, agradeço a minha mãe Andréa e ao meu pai José Acácio, por toda força, apoio, amor, carinho, por todos os valores que me transformaram em um ser humano do bem. Obrigado, meus pais, por investirem em mim, na minha educação e por fazerem o possível e o impossível por mim e por toda a nossa família. Agradeço a Deus todos os dias por ter sido presenteado com os melhores pais do mundo. Agradeço também a minha irmã, Izabela, que sempre quer o meu bem e torce por mim todos os dias. EU AMO VOCÊS INFINITO! OBRIGADO MEUS AMORES!

À minha namorada, Dani: muito obrigado por acreditar em mim, meu amor. Obrigado por me dar forças todos os dias e não desistir de mim. Obrigado por ser tão incrível e me apoiar tanto. Obrigado por me presentear com seu amor. Obrigado pela segunda família que você e toda a sua família são para mim. TE AMO PARA SEMPRE!

Agradeço também aos meus avós, vó Olga, vó Zéquita e vó Zilda (*in memoriam*), que eu amo muito, muito, muito! Obrigado, meus velhinhos, por todos os ensinamentos tão sábios que só a idade pode nos passar. Vó Zilda, essa é para a senhora, minha rainha! Continue olhando por todos nós aí de cima.

A todos os meus tios, especialmente, tia Paula, tia Nena, tio Pedro, tio João, tia Rita, tia Tata e à minha madrinha, tia Ieda. A todos os meus primos (em especial, Ana Flávia, Ana Carolina, Rafael e Gabi) e familiares: obrigado por todo o apoio, conselhos e orações. Amo vocês!

Agradeço também a todos os meus amigos de infância, tempos da escola e da faculdade, em especial, ao Vitor e ao Francisco por tornarem-se meus irmãos, em Lavras. Obrigado por toda a parceria, pelo apoio, pelas risadas. Amo vocês!

Agradeço também ao Professor Dimitri, por aceitar me orientar neste trabalho, por todos os ensinamentos, puxões de orelha, por confiar no meu trabalho e me apoiar. Obrigado, mestre!

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer à empresa que me acolheu nestes últimos dois anos e meio: a Terra Viva. Agradeço especialmente ao meu líder, João Paulo, que confiou no meu trabalho e me proporcionou muito aprendizado. Obrigado por todo o apoio e confiança!

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi a realização de uma análise de viabilidade econômica sobre a implantação de um sistema de armadilhas inteligentes para a detecção automatizada do inseto *Diaphorina citri*, popularmente conhecido como psilídeo, nas lavouras de citros do Grupo Terra Viva. Tendo em vista que, atualmente, o processo de monitoramento do psilídeo é feito manualmente, através da inspeção visual de armadilhas amarelas, conhecidas também por *yellowtraps*, foi observado que a construção de armadilhas inteligentes que possam fazer a detecção automatizada é economicamente viável. Basicamente, as armadilhas projetadas são compostas pelos seguintes componentes: Raspberry Pi 5, módulo de câmera, módulo com suporte à rede móvel 4G e GPS, cartão de memória e bateria. Dessa forma, prevê-se a captação de imagens durante alguns períodos pré-programados do dia que, após serem transmitidas para um servidor já existente na fazenda em questão, serão processadas por uma rede neural artificial. Os custos do sistema foram computados por meio de orçamentos de produtos e serviços e os benefícios financeiros foram estimados considerando-se a extrema importância de se combater o inseto transmissor do *greening* da forma mais rápida possível, doença altamente mortal (e sem cura) para as plantas infectadas pela bactéria transmitida pelo psilídeo. Assim, chegou-se à estimativa dos fluxos de caixa anuais da empresa, o que permitiu o uso de três indicadores: o *Payback* Descontado, o VPL e a TIR. Os resultados obtidos mostraram que o projeto pode ser um investimento vantajoso para a empresa.

Palavras-chave: Armadilhas inteligentes, *greening*, psilídeo, rede neural artificial, análise econômica, *payback*, VPL, TIR.

ABSTRACT

The objective of this paper was to conduct an economic feasibility analysis on the implementation of an intelligent trap system for the automated detection of the *Diaphorina citri* insect, commonly known as psyllid, in the citrus orchards of Grupo Terra Viva. Considering that, currently, the psyllid monitoring process is done manually through visual inspection of yellow traps, also known as yellowtraps, it was observed that the construction of intelligent traps capable of automated detection is economically viable. Essentially, the designed traps consist of the following components: Raspberry Pi 5, camera module, module with 4G mobile network and GPS support, memory card, and battery. Thus, the capture of images during pre-programmed periods of the day is foreseen, which, after being transmitted to an existing server on the farm in question, will be processed by an artificial neural network. The system costs were computed through budgets for products and services, and the financial benefits were estimated considering the extreme importance of combating the psyllid, the transmitter of citrus greening, as quickly as possible. This disease is highly lethal (and incurable) for plants infected by the bacterium transmitted by the psyllid. Thus, annual cash flows for the company were estimated, allowing the use of three indicators: Discounted Payback, Net Present Value (NPV), and Internal Rate of Return (IRR). The results obtained showed that the project can be an advantageous investment for the company.

Keywords: Smart traps, citrus greening, psyllid, artificial neural networks, economic analysis, payback, NPV, IRR.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Ciclo de vida e fase adulta do <i>Diaphorina citri</i> | 12 |
| Figura 2 - Sintomas do greening. | 13 |
| Figura 3 - Raspberry Pi 5 e módulo de câmera V2. | 16 |
| Figura 4 - Módulo de expansão com conectividade 4G e suporte a GPS. | 17 |
| Figura 5 - Power Bank Shargeek 100..... | 17 |
| Figura 6 - Desenho esquemático da armadilha..... | 18 |
| Figura 7 - Exemplo de dashboard no Microsoft Power BI..... | 18 |
| Figura 8 - Fluxograma de funcionamento do sistema. | 19 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Resumo dos custos | 21 |
| Tabela 2 – Payback descontado..... | 27 |
| Tabela 3 – VPL com variação da TMA..... | 28 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-----|----------------------------------|
| BI | <i>Business Intelligence</i> |
| CCH | Cachimbão |
| GB | <i>Gigabyte</i> |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> |
| HAT | <i>Hardware Attached on Top</i> |
| HLB | <i>Huanglongbing</i> |
| IoT | <i>Internet of Things</i> |
| LFC | Lagoa Formosa |
| LTE | <i>Long Term Evolution</i> |
| MB | <i>Megabyte</i> |
| MG | Minas Gerais |
| MIP | Manejo Integrado de Pragas |
| P&D | Pesquisa e Desenvolvimento |
| RAM | <i>Random Access Memory</i> |
| RNA | Rede Neural Artificial |
| RTC | <i>Real Time Clock</i> |
| SD | <i>Secure Digital</i> |
| SP | São Paulo |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |
| TMA | Taxa Mínima de Atratividade |
| VPL | Valor Presente Líquido |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------|--|
| mm | milímetros |
| mAh | miliampère-hora |
| ha | Hectares |
| R\$ | Reais |
| Kg | Quilogramas |
| FC_0 | Valor absoluto do investimento inicial |
| FC_t | Valor projetado de entradas no caixa |
| n | Número de anos em análise |
| t | Ano em análise |
| Σ | Somatório |
| a.a. | ao ano |
| GHz | Gigahertz |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 2 DESENVOLVIMENTO..... | 11 |
| 2.1 Identificação do problema | 11 |
| 2.2 Análise de alternativas | 14 |
| 2.3 Levantamento de custos | 19 |
| 2.3.1 Concepção | 19 |
| 2.3.2 <i>Hardware</i> para uma unidade | 20 |
| 2.3.3 Manutenção anual de uma unidade | 20 |
| 2.3.4 Custos não computados..... | 20 |
| 2.3.5 Resumo dos custos apurados | 21 |
| 2.4 Levantamento dos benefícios | 22 |
| 2.4.1 Qualitativos | 22 |
| 2.4.2 Quantitativos..... | 23 |
| 2.5 Análise econômica | 24 |
| 2.5.1 <i>Payback</i> descontado | 25 |
| 2.5.2 Valor Presente Líquido (VPL)..... | 25 |
| 2.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)..... | 26 |
| 2.5.4 Resultados | 26 |
| 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 28 |
| 3.1 Recomendações para trabalhos futuros | 28 |
| 3.2 Conclusão | 30 |
| REFERÊNCIAS | 31 |

1 INTRODUÇÃO

O Grupo Terra Viva foi fundado em 1959, na cidade de Holambra (SP), por um casal de imigrantes holandeses. Atualmente, o grupo pesquisa, desenvolve, produz e comercializa batatas, bulbos, cereais, flores e plantas ornamentais, citros (laranjas, tangerinas e limões), mudas de plantas, flores e eucaliptos, a partir de fazendas localizadas em regiões estratégicas dos estados de São Paulo (SP) e Minas Gerais (MG) (TERRA VIVA, 2023).

Em relação à produção de citros, que ocorre exclusivamente em duas fazendas no interior paulista (nas cidades de Casa Branca e Vargem Grande do Sul), há uma grande dificuldade no combate à principal doença que atinge nacionalmente a cultura: o *greening*, também conhecido como *huanglongbing* (HLB).

O *greening*, é causado por uma bactéria chamada *Candidatus Liberibacter spp.*, e seu vetor de transmissão é o inseto *Diaphorina citri*, popularmente conhecido como psilídeo, de coloração branca acinzentada com manchas escuras nas asas, medindo de 2 a 3 mm, e muito frequente nos pomares nas épocas de brotação das plantas. Ao se alimentarem em plantas saudáveis, os insetos contaminados disseminam a bactéria e a doença pelo próprio pomar e para outras propriedades da região (FUNDECITRUS, 2023).

Os primeiros indícios do *greening* surgem nas folhas dos citros, que se tornam amarelas e com manchas, e acabam caindo. Além de afetar o sabor das frutas, essa doença faz com que os frutos não cresçam normalmente, tornando-se pequenos e deformados, caindo mais cedo do que o esperado, o que reduz drasticamente a quantidade de frutas que os pomares produzem. As árvores jovens que são contaminadas pelo *HLB* não conseguem produzir frutas, e as que já produzem acabam enfraquecendo ao longo do tempo.

Portanto, o controle do psilídeo é de fundamental importância para as fazendas produtoras, pois os prejuízos causados pela doença apresentam cifras de alto valor financeiro. Neste sentido, o manejo integrado de pragas (MIP) é uma abordagem essencial para a identificação e controle de pragas e doenças. O MIP é uma estratégia de controle que integra diversas práticas e métodos, como controle biológico, cultural e químico, visando gerenciar pragas de maneira sustentável, eficiente e minimizando o impacto ambiental.

Atualmente, o monitoramento realizado pelos inspetores de pragas do Grupo Terra Viva é feito de forma manual, sendo considerado um trabalho árduo, pois todo o pomar deve ser verificado com frequência. A técnica adotada pela empresa faz uso de armadilhas que, basicamente, são compostas por telas adesivas amarelas (*yellowtraps*), nas quais os insetos atraídos ficam presos, caracterizando-as como pontos de referência para a inspeção visual.

Considera-se que, para um controle eficiente, o monitoramento deve ser realizado diariamente, mas a amplitude dos pomares inviabiliza a periodicidade desejada.

Portanto, a substituição das *yellowtraps* comuns por armadilhas inteligentes, capazes de capturar imagens das telas adesivas e enviá-las para um servidor capaz de identificar automaticamente os insetos por meio de inteligência artificial, é uma possível solução para o mencionado problema. Dessa forma, com o uso de um sistema de georreferenciamento em cada armadilha, considera-se que será possível agir de forma muito mais rápida e precisa ao primeiro sinal do inseto no pomar, reduzindo-se os prejuízos causados pela doença.

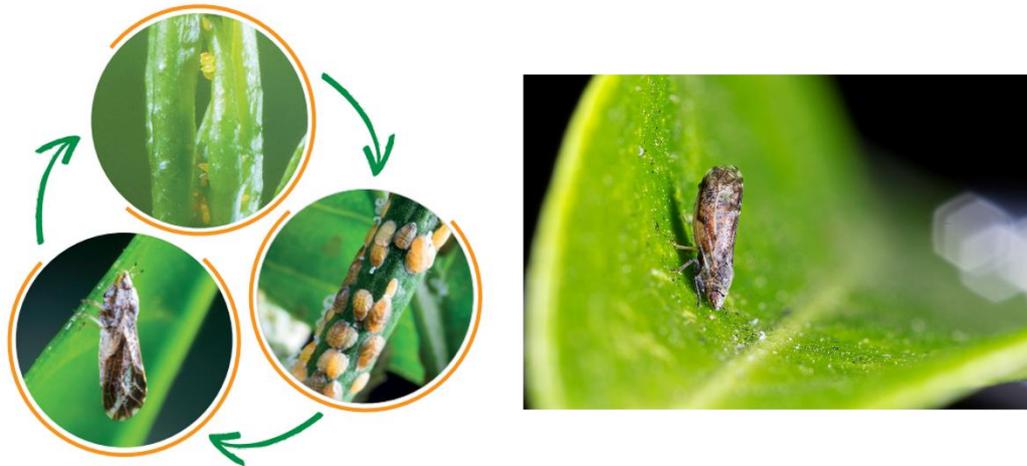
De acordo com o exposto, o objetivo do presente trabalho é analisar a viabilidade econômica do projeto, realizando-se a estimativa de todos os custos e benefícios da solução e calculando-se os indicadores de *Payback* Descontado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Identificação do problema

O *greening* é uma doença causada por uma bactéria chamada *Candidatus Liberibacter spp.*, sendo que, no Brasil, 99% das plantas infectadas são pela espécie *Candidatus Liberibacter asiaticus*. Sua transmissão ocorre por meio do inseto *Diaphorina citri*, conhecido como psilídeo, que tem uma coloração branca acinzentada com manchas escuras nas asas e mede entre 2 e 3 mm. Na Figura 1 pode-se observar as três principais fases do desenvolvimento deste inseto: ovos, ninfas e adultos. O psilídeo é encontrado durante todo o ano nos pomares, com um aumento significativo de sua população durante a primavera e o verão, que são os períodos de maior crescimento das plantas. Em anos chuvosos, também é possível observar um aumento na população durante o outono e o inverno. Para controlar o *greening*, é necessário plantar mudas saudáveis, eliminar as plantas doentes e controlar a população de psilídeos (FUNDECITRUS, 2023).

Figura 1 - Ciclo de vida e fase adulta do *Diaphorina citri*.



Fonte: Fundecitrus (2023)

Segundo o Fundecitrus (Fundo de Defesa da Citricultura), no estágio inicial do acometimento de uma plantação, cerca de 80% dos psilídeos e das plantas infectadas encontram-se nos primeiros 100 a 200 metros da divisa da propriedade, a chamada faixa de borda. Isso ocorre pois, quando o inseto voa de um pomar para o outro, ele pousa nas primeiras plantas de citros em estágio de brotação que encontra (FUNDECITRUS, 2023).

Os pomares que têm uma alta incidência da doença e não fazem um controle adequado do inseto vetor representam uma séria ameaça para os pomares vizinhos, pois as plantas doentes atuam como fonte da bactéria, que é adquirida pelos psilídeos quando se alimentam ou se reproduzem nelas. Quando esses insetos se alimentam em plantas saudáveis, espalham a bactéria e a doença dentro do mesmo pomar e para outras propriedades da região (FUNDECITRUS, 2023).

Os primeiros sinais do *greening* aparecem nas folhas dos citros, que se tornam amarelas e com manchas (como se vê no lado esquerdo da Figura 2), e eventualmente caem. Além de afetar o sabor das frutas, essa doença também prejudica o crescimento normal dos frutos, fazendo com que fiquem pequenos e deformados, além de caírem prematuramente (como se vê no lado direito da Figura 2), reduzindo significativamente a produção de frutas nos pomares. As árvores jovens contaminadas pelo *greening* não conseguem produzir frutas, e as árvores maduras acabam enfraquecendo com o tempo (FUNDECITRUS, 2023).

Figura 2 - Sintomas do greening.



Fonte: Fundecitrus (2023)

De acordo com o último levantamento anual realizado pelo Fundecitrus, a incidência da doença no cinturão citrícola de São Paulo e no Triângulo/Sudoeste Mineiro aumentou significativamente, passando de 24,42% em 2022 para 38,06% em 2023. Esse aumento representa um crescimento de 56%, o que equivale a aproximadamente 77,22 milhões de árvores doentes, em um total de 202,88 milhões de laranjeiras em todo o parque citrícola. Vale ressaltar que este é o sexto ano consecutivo de aumento na incidência da doença, sendo o maior aumento em termos percentuais registrado desde o início da série histórica, em 2008 (FUNDECITRUS, 2023).

Portanto, percebe-se claramente que a situação atual requer um esforço e estratégias adicionais por parte dos produtores de citros para um controle mais eficaz da doença. Como não há cura para as plantas infectadas, o monitoramento para o combate ao psilídeo é cada vez mais importante e exigirá um maior rigor nas inspeções para evitar a propagação do inseto.

O Brasil tem uma longa história de produção de frutas cítricas e é o principal produtor e exportador de suco de laranja, sendo responsável por cerca de 56% da produção global e quase 80% das vendas mundiais, de acordo com informações da Fundecitrus e CitrusBR (Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos). A indústria de citricultura nacional gera, anualmente, uma receita de 14 bilhões de dólares, contribuindo com 190 milhões de dólares em impostos e criando aproximadamente 200 mil empregos diretos e indiretos no país (AGRO BAYER, 2023).

Como exemplos mais específicos, as fazendas “Lagoa Formosa” (LFC) e “Cachimbão” (CCH), pertencentes ao Grupo Terra Viva e respectivamente localizadas em Vargem Grande do Sul (SP) e Casa Branca (SP), registraram um custo com defensivos inseticidas para combate

ao psilídeo de R\$238.412,98 e R\$850.128,25, somente no ano de 2022. Seguindo a linha do aumento da incidência da doença no cinturão citrícola de São Paulo e no Triângulo/Sudoeste Mineiro, até setembro de 2023, o grupo já havia destinado R\$1.173.489,98 para o mesmo fim. Na fazenda “Cachimbão”, no ano de 2022, o número de plantas erradicadas por conta da doença foi de 7338. Por possuir um pomar mais jovem e, portanto, mais suscetível ao ataque dos psilídeos, a fazenda CCH será o foco da análise financeira realizada no presente trabalho.

Como supracitado, o monitoramento para o combate ao *greening* é realizado nas duas fazendas produtoras dos citros (laranjas, tangerinas e limões), no entanto, essa inspeção é realizada de forma manual pelos inspetores de pragas, seguindo a técnica do Manejo Integrado de Pragas (MIP). No total, as duas fazendas contam com oito colaboradores para realizar o trabalho. De acordo com o planejamento, os pomares, que possuem uma área conjunta de 1.100 ha, precisam ser totalmente percorridos mensalmente, sendo que para atingir esse objetivo, cada inspetor deve verificar 12.000 plantas por dia. Outro complicador é que, além do *greening*, há também a necessidade de se inspecionar outras pragas e doenças que atingem a cultura, contudo, as armadilhas inteligentes inspecionariam apenas os psilídeos.

As armadilhas tradicionalmente utilizadas são conhecidas por armadilhas amarelas, ou *yellowtraps*, que são placas adesivas retangulares de cor amarela, no qual vários tipos de insetos e outros artrópodes ficam grudados em uma resina especialmente composta para prendê-los. As armadilhas são posicionadas nas bordas das propriedades com a vizinhança, no terço superior da copa das árvores, voltadas sempre para fora do talhão, a 500 metros uma da outra. É essencialmente a partir dessas armadilhas, e também pela inspeção nas folhas de plantas em estágio de brotação, que os inspetores de pragas são capazes de identificar a presença do psilídeo em seus mais variados estágios de desenvolvimento (ovos, ninfas e adultos). Quando isso ocorre, eles informam aos coordenadores de produção em quais talhões há a presença do inseto e também a gravidade da infestação em cada área e, assim, as pulverizações são realizadas o mais rápido possível. Contudo, esta não é uma tarefa fácil, pois como dito, os pomares possuem uma grande extensão territorial e o psilídeo é capaz de se propagar com muita rapidez, alastrando a doença.

2.2 Análise de alternativas

As armadilhas de inspeção manual e as armadilhas inteligentes são duas técnicas distintas de monitoramento e controle de pragas. As armadilhas de inspeção manual se baseiam na instalação de armadilhas físicas, como as tradicionais armadilhas adesivas amarelas (*yellowtraps*), para capturar e detectar a presença de pragas. Além das armadilhas mencionadas,

existem as armadilhas de feromônio e armadilhas luminosas, porém todas elas exigem uma verificação manual constante. Já as armadilhas inteligentes são equipadas com sensores capazes de detectar a presença dos insetos-praga, e muitas vezes realizam o monitoramento em tempo real, permitindo uma análise mais precisa das informações coletadas. Geralmente, essas armadilhas possuem a capacidade de enviar alertas imediatos quando identificam a presença de pragas, permitindo uma resposta rápida e eficaz no seu controle.

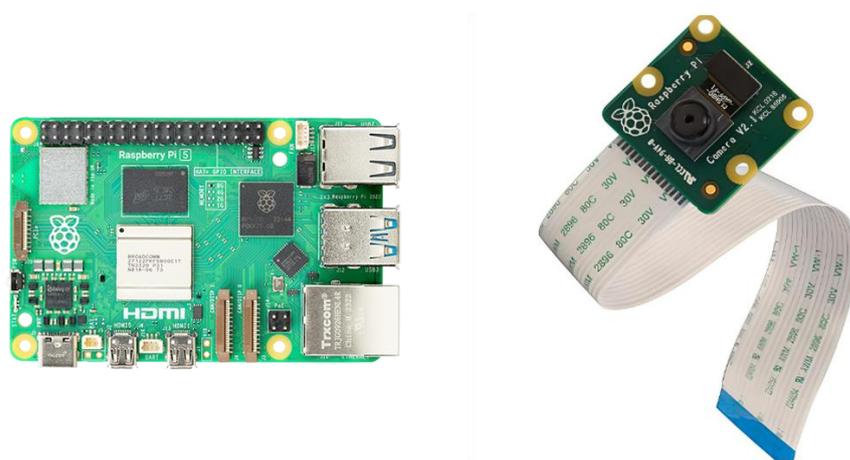
Atualmente, de acordo com o levantamento realizado, no mercado existem poucas armadilhas inteligentes sendo comercializadas e nenhuma com a capacidade de detecção do psilídeo. A Tarvos é uma empresa brasileira, com sede na cidade de Campinas, que possui armadilhas para a detecção de determinadas pragas agrícolas, no entanto, em seu portfólio não há o psilídeo. Em sua dissertação de mestrado, Remboski (2019) mostra a confecção de uma armadilha provida de *machine learning* capaz de identificar a mosca-da-fruta (*Ceratitis capitata*) e a mariposa oriental (*Grapholita molesta*). No trabalho desenvolvido, a armadilha foi montada utilizando-se os seguintes componentes: Raspberry Pi 3, Arduino UNO, módulo de câmera *Raspberry Pi V2*, módulo XBee, módulo *Relay*, módulo *Real Time Clock (RTC)* e bateria *Power Bank*. Em resumo, a rede neural alcançou uma precisão superior a 93% na detecção das moscas. No entanto, o algoritmo de contagem teve dificuldades quando os insetos estavam agrupados, indicando a necessidade de melhorias nessa questão. Além disso, o autor disponibilizou conjuntos de dados de imagens para a comunidade científica e destacou a eficácia do uso de uma rede neural convolucional para automatizar o monitoramento de insetos-praga em plantações, especialmente usando dispositivos embarcados.

A partir do problema apresentado, para uma averiguação com maior rapidez, alta precisão e de forma totalmente automatizada, o presente trabalho analisará a viabilidade econômica de um modelo de armadilha inteligente para a identificação dos psilídeos baseado nos seguintes componentes: *Raspberry Pi 5*, módulo de câmera *Raspberry V2*, módulo de expansão para *Raspberry* com conectividade 4G LTE (*Long Term Evolution*) e suporte GPS (*Global Positioning System*), uma bateria *power bank* e um cartão de memória microSD.

A placa *Raspberry Pi 5* (como se vê no lado esquerdo da Figura 3), com 4 *Gigabytes (GB)* de memória RAM (*Random Access Memory*), criada pela *Raspberry Pi Foundation* e lançada em 2023, foi selecionada devido à sua capacidade de processamento e facilidade de uso. Além disso, um benefício crucial é a sua ampla adoção pela comunidade científica, o que oferece acesso a uma vasta gama de módulos e bibliotecas para os mais diversos fins, incluindo a aquisição de imagens e a transmissão de arquivos via rede. No entanto, é importante mencionar que a placa possui numerosos recursos que podem ser redundantes em certos

contextos. Felizmente, é viável desativar esses recursos para reduzir o consumo de energia e tempo de processamento. Dentro do contexto deste trabalho, a placa será empregada para armazenar imagens capturadas pelo módulo de câmera V2 da *Raspberry Pi* (como se vê no lado direito da Figura 3), que possui 8 megapixels de resolução. O micro SD de 256 GB será utilizado para instalação o sistema operacional e para o armazenamento dos dados, caso a conexão com a internet falhe. O processamento do algoritmo de contagem de insetos desenvolvido para o projeto será realizado por um servidor externo que a própria empresa já possui.

Figura 3 - Raspberry Pi 5 e módulo de câmera V2.



Fonte: Raspberry Pi (2023)

O módulo de expansão Waveshare SIM7600G-H 4G HAT, conforme se observa na Figura 4, é de grande importância na medida em que é o responsável por informar a geolocalização da armadilha, pois possui suporte integrado para GPS. Esta informação é de grande importância pois é necessário saber a localização exata da armadilha, facilitando as medidas de controle do psilídeo, uma vez que ele seja detectado. Além disso, o HAT (*Hardware Attached on Top*) permite a transmissão de dados em alta velocidade, suportando conexões 3G e 4G, tornando-o ideal para aplicações que requerem acesso à internet de alta velocidade, como monitoramento remoto, IoT (*Internet of Things*) e muito mais. Sendo assim, este módulo será o responsável por transmitir as imagens capturadas para o servidor.

Figura 4 - Módulo de expansão com conectividade 4G e suporte a GPS.



Fonte: Waveshare (2023)

Devido ao sistema da armadilha ser composto por vários componentes, o consumo de energia é consideravelmente elevado. Uma vez que a economia de energia da bateria é crucial em sistemas embarcados, será empregada uma técnica para prolongar a vida útil da bateria, reduzindo a necessidade de substituição frequente. Como o sistema de comunicação só precisa permanecer ativo durante a transferência de dados, o que corresponde a poucos minutos ao longo do dia, considerando um número limitado de coletas de imagem, o RTC (*Real Time Clock*) interno do *Raspberry Pi* será utilizado para determinar os momentos de transmissão. Isso viabiliza a escolha da bateria *power bank Shargeek 100* (conforme se vê na Figura 5), de 25.600 mAh, para que o sistema possa ser alimentado durante muitos dias sem a necessidade de substituição da fonte de alimentação.

Figura 5 - Power Bank Shargeek 100

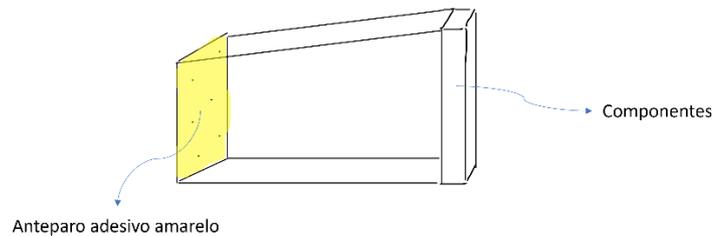


Fonte: Amazon (2023)

Assim, estes componentes serão acoplados a uma base de acrílico, ficando bem fixados na parte lateral da armadilha. Na lateral oposta de onde estão os componentes, ficará disposto um anteparo amarelo adesivo para que os psilídeos possam ficar presos após serem atraídos,

possibilitando o monitoramento automatizado. A parte externa da armadilha será confeccionada em acrílico impermeável, resistente e transparente, para que os componentes internos fiquem bem protegidos das intempéries e possam funcionar normalmente, ao mesmo tempo em que atrai o inseto para dentro da armadilha, conforme pode-se observar pela Figura 6.

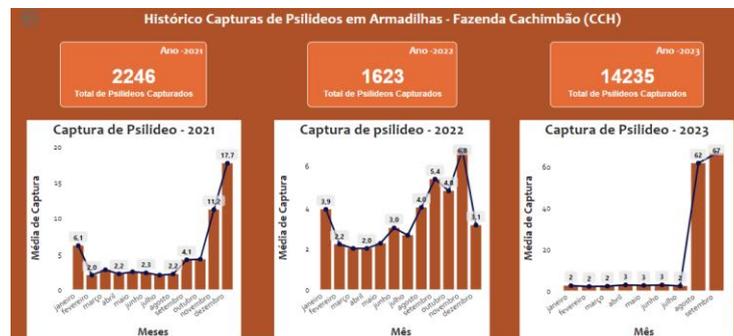
Figura 6 - Desenho esquemático da armadilha.



Fonte: Do autor (2023)

Por fim, com as imagens armazenadas no banco de dados e processadas no servidor pelo algoritmo baseado em uma Rede Neural Artificial (RNA), previamente treinado para a identificação de psilídeos, será possível a montagem de *dashboards* personalizados e atualizados durante todo o dia, para que os coordenadores de produção, gerentes e diretores possam tomar decisões com base nos gráficos gerados. Para isso, será utilizado o *software Microsoft Power BI*, que é recorrentemente utilizado pela empresa e possui um nível de apresentação de excelente qualidade e de fácil visualização, conforme pode ser observado pela Figura 7, que ilustra um exemplo de relatório desenvolvido internamente, baseado em dados inseridos de forma manual, mas que poderão ser automatizados com informações advindas do sistema proposto.

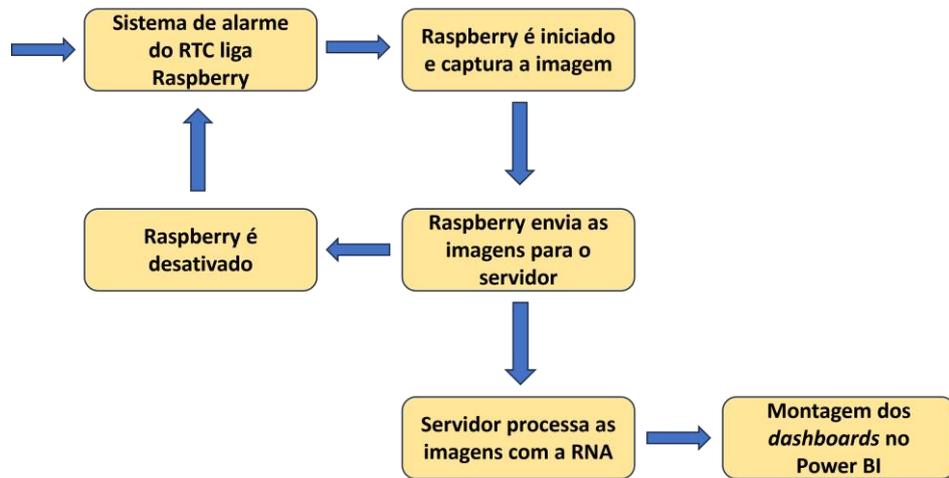
Figura 7 - Exemplo de dashboard no Microsoft Power BI.



Fonte: Do autor (2023)

Por sua vez, a Figura 8 mostra o fluxograma de funcionamento do sistema, desde o acionamento da armadilha pelo RTC, até a apresentação do relatório no *Power BI*.

Figura 8 - Fluxograma de funcionamento do sistema.



Fonte: Do autor (2023)

Como se pode observar no fluxograma, ao ser ativado pelo módulo RTC, o Raspberry liga e em seguida realiza a captura de imagem pelo módulo da câmera, enviando a imagem para o servidor. Na medida em que o Raspberry é desativado, e só volta a ser ativado em um horário previamente programado, o servidor realiza o processamento das imagens através da RNA. Com os dados obtidos pelo algoritmo, realiza-se a confecção dos *dashboards*, através do Microsoft Power BI.

2.3 Levantamento de custos

Nesta seção encontra-se uma análise detalhada dos custos associados ao projeto. Na Subseção 2.3.1, são apresentados os custos relacionados aos serviços de engenharia necessários para a concepção de um protótipo. Em seguida, na Subseção 2.3.2, são detalhados os componentes necessários para cada armadilha inteligente. Na Subseção 2.3.3, são discutidos os custos para manter operacional uma armadilha inteligente ao longo de um ano. Além disso, na Subseção 2.3.4, são identificados os custos que não foram incluídos na análise devido à disponibilidade interna de recursos e materiais da empresa ou por serem idênticos aos já despendidos atualmente com a inspeção manual. Por fim, na Subseção 2.3.5, é apresentada uma tabela que oferece uma visão geral dos gastos associados ao projeto, resumindo os valores encontrados nas subseções anteriores.

2.3.1 Concepção

Para a concepção das armadilhas inteligentes são necessários serviços de desenvolvimento, computados em horas de engenharia. Considerando o salário base (com encargos), de R\$2.500,00 para o cargo de Analista Junior da empresa, os valores estimados são:

- Horas de desenvolvimento dos *softwares* para a rede neural e para o Raspberry (incluindo testes): 110 horas, totalizando **R\$1.250,00**.
- Horas de desenvolvimento do projeto e montagem do *hardware* (incluindo testes): 80 horas, totalizando **R\$909,09**.

2.3.2 Hardware para uma unidade

Os componentes especificados na Seção 2.2, em quantidade para a montagem de uma unidade das armadilhas inteligentes, possuem os seguintes valores¹:

- Placa *Raspberry Pi 5*, de 4GB: **R\$750,00**.
- Módulo de câmera V2 da *Raspberry Pi*, de 8MB: **R\$460,00**.
- O módulo de expansão Waveshare SIM7600G-H 4G HAT, da empresa Waveshare: **R\$584,99**.
- O *Power bank Shargeek 100*, da empresa Shargeek: **R\$870,35**.
- Cartão de memória micro SD *Extreme* da *SanDisk*, de 256GB: **R\$179,20**.
- Chip para conexão em rede móvel 4G: **R\$15,00**.
- Gabinete protetor dos componentes: **R\$150,00**.

2.3.3 Manutenção anual de uma unidade

Para se manter o funcionamento de uma unidade das armadilhas inteligentes, estima-se que seja necessário apenas o serviço de conexão com dados móveis (plano de dados para conexão em rede móvel 4G), cujo valor anual será de R\$300,00.

2.3.4 Custos não computados

Os custos não computados são referentes à recursos necessários ao projeto, mas já disponíveis no ambiente da empresa ou por serem idênticos aos já despendidos atualmente com a inspeção manual, sendo estes:

- A empresa possui uma rede de computadores que atuam como servidores e são capazes de armazenar os dados enviados pelas armadilhas, assim como conseguem realizar o processamento do algoritmo responsável pela detecção dos psilídeos.

¹ Conforme valores orçados, obtidos no mês de Outubro de 2023.

- Para o desenvolvimento e visualização dos *dashboards* no Power BI são necessárias licenças pagas. No entanto, tais elementos a empresa já possui, pois o referido *software* já é utilizado para outras finalidades.
- As trocas semanais das telas adesivas (que ficarão no interior das armadilhas inteligentes) não serão computadas, pois já ocorrem atualmente nas inspeções manuais.

2.3.5 Resumo dos custos apurados

A Tabela 1 resume os custos associados ao projeto, que estão divididos em quatro categorias: concepção, *hardware* para uma unidade, manutenção anual e custos não computados. Este resumo proporciona uma visão abrangente dos custos envolvidos no desenvolvimento e manutenção das armadilhas inteligentes.

Tabela 1 - Resumo dos custos

| Concepção | |
|---|--------------------|
| Desenvolvimento do <i>software</i> | R\$1.250,00 |
| Desenvolvimento do projeto e montagem do <i>hardware</i> | R\$909,09 |
| Hardware para uma unidade | |
| Raspberry Pi 5 (4GB) | R\$750,00 |
| Módulo de câmera V2 da Raspberry Pi (8MP) | R\$460,00 |
| Módulo de rede móvel e GPS | R\$584,99 |
| Bateria (<i>Power Bank</i>) | R\$870,35 |
| Cartão micro SD | R\$179,20 |
| Chip para conexão 4G | R\$15,00 |
| Gabinete protetor | R\$150,00 |
| Manutenção anual de uma unidade | |
| Plano de dados para conexão em rede móvel 4G | R\$300,00 |
| Custos não computados | |
| Infraestrutura de servidor e banco de dados | - |
| Licenças para a ferramenta Microsoft Power BI | - |
| Troca das armadilhas amarelas (material e mão de obra) | - |
| Total | |
| | R\$5.468,63 |

Fonte: do Autor (2023)

Considerando que o pomar da fazenda “Cachimbão” possui 600 hectares, seu monitoramento utiliza, atualmente, 140 armadilhas de inspeção manual (*yellowtraps*). Portanto, com base nos dados da Tabela 1, o investimento inicial com concepção e *hardware* para todas as unidades seria de **R\$423.494,69** (R\$2.159,09 + 140 x R\$3.009,54).

2.4 Levantamento dos benefícios

O uso de armadilhas inteligentes nas lavouras de citros oferece uma série de benefícios qualitativos e quantitativos para os agricultores e para a indústria agrícola como um todo. Qualitativamente, essas armadilhas proporcionam um monitoramento preciso das populações de psilídeos, permitindo tomadas de decisões baseadas em dados e reduzindo o uso excessivo de pesticidas. Além disso, ajudam na preservação de inimigos naturais, melhoram a qualidade dos frutos, preservam a saúde das árvores e promovem práticas agrícolas sustentáveis, aumentando a confiança dos consumidores e contribuindo para pesquisas futuras. Do ponto de vista quantitativo, a introdução das armadilhas inteligentes resulta em uma economia substancial de custos, especialmente de mão de obra, visto que a automação reduz significativamente as horas dedicadas à inspeção manual. Nas seções 2.4.1 e 2.4.2 serão descritos estes benefícios.

2.4.1 Qualitativos

Conforme mencionado anteriormente, o controle dos psilídeos é crucial para a saúde das lavouras de citros, sendo que o uso de armadilhas inteligentes pode trazer uma série de benefícios, como estes:

1. Monitoramento preciso: armadilhas inteligentes podem fornecer dados detalhados sobre a população de psilídeos na lavoura, permitindo aos agricultores e pesquisadores entenderem melhor os padrões de infestação;
2. Tomada de decisões baseada em dados: com dados precisos provenientes das armadilhas, os agricultores podem tomar decisões assertivas sobre quando e onde aplicar medidas de controle, evitando o uso excessivo de pesticidas;
3. Redução do uso de pesticidas: ao permitir uma abordagem mais direcionada, as armadilhas inteligentes ajudam a reduzir a necessidade de pesticidas, o que é benéfico para o meio ambiente e para a saúde dos consumidores;
4. Preservação de inimigos naturais: o controle direcionado dos psilídeos ajuda a preservar os inimigos naturais dessa praga, como predadores e parasitoides, ajudando a manter um equilíbrio natural no ecossistema da lavoura;
5. Melhoria da qualidade dos frutos: reduzindo a infestação de psilídeos, as armadilhas inteligentes ajudam a melhorar a qualidade dos frutos, tornando-os mais saudáveis e visualmente atraentes para os consumidores;

6. Preservação da saúde das árvores: o *greening* é uma doença devastadora para as árvores de citros. Controlar o vetor ajuda a preservar a saúde das árvores a longo prazo, aumentando a produtividade das lavouras;
7. Sustentabilidade: a implementação de tecnologias como armadilhas inteligentes demonstra um compromisso com práticas agrícolas sustentáveis, o que é cada vez mais importante para os consumidores e para o mercado;
8. Aumento da confiança dos consumidores: a conscientização sobre práticas agrícolas sustentáveis e seguras está crescendo entre os consumidores. O controle eficaz de pragas, sem o uso excessivo de pesticidas, aumenta a confiança dos consumidores nos produtos;
9. *Compliance* com regulações: o controle eficaz do psilídeo por meio de armadilhas inteligentes ajuda os agricultores a cumprirem com regulamentações sobre o uso de pesticidas e boas práticas agrícolas de forma eficaz;
10. Pesquisa e Desenvolvimento (P&D): ao implementar tecnologias inovadoras como armadilhas inteligentes, as lavouras de laranja contribuem para o avanço da pesquisa agrícola, criando um ciclo de aprendizado contínuo para melhorias futuras.

Esses benefícios qualitativos ressaltam a importância das armadilhas inteligentes no controle do psilídeo em lavouras de citros, não apenas para os agricultores, mas também para o meio ambiente, consumidores e a indústria como um todo.

2.4.2 Quantitativos

A introdução de armadilhas inteligentes nas lavouras de citros representa um avanço significativo na agricultura moderna, trazendo consigo uma série de benefícios econômicos e operacionais. Um dos principais ganhos financeiros associados a essa inovação está diretamente relacionado à substancial redução da mão-de-obra destinada à inspeção do pomar. Com a tecnologia das armadilhas inteligentes, os produtores de citros podem monitorar de forma eficiente e precisa a presença do *Diaphorina citri*, dispensando a necessidade de verificações manuais extensivas. Isso não apenas economiza recursos valiosos, mas também otimiza o tempo dos trabalhadores agrícolas, permitindo que se concentrem em atividades mais estratégicas e produtivas.

A troca das armadilhas amarelas, tanto mão-de-obra quanto material, conforme mencionado na Subseção 2.3.4, é um custo não computado, pois acontece atualmente nas inspeções manuais e continuará acontecendo com as armadilhas inteligentes, com a mesma

frequência. Portanto, a economia de mão-de-obra virá da substituição da inspeção visual pelo sistema automático de análise, conforme a seguinte base de cálculo:

1. O pomar da fazenda “Cachimbão” é considerado jovem e, por isso, muito suscetível ao ataque dos psilídeos. Como mencionado na Subseção 2.3.5, a fazenda possui 600 hectares e, conforme estudos preliminares, necessita de um total de 140 *yellowtraps* para monitoramento.
2. O inspetor de pragas, encarregado de monitorar as armadilhas, recebe um salário mensal de, aproximadamente, R\$3.000,00, incluindo benefícios. Considerando uma jornada de 220 horas por mês, o valor da hora de trabalho é R\$13,63.
3. As inspeções das armadilhas são realizadas três dias por semana, em sala adequadamente iluminada, totalizando cerca de 26 horas e 24 minutos semanais. No mês, o inspetor gasta, aproximadamente, 105 horas e 36 minutos nesse trabalho, resultando em um custo mensal de mão de obra estimado em R\$1.439,33, ou seja, anualmente serão economizados R\$17.271,96 de mão-de-obra.

Além disso, os gestores da empresa preveem uma diminuição de 80% no número de frutos perdidos, após a implantação do sistema de armadilhas inteligentes. Isso porque a detecção precoce dos psilídeos auxilia em tomadas de decisão mais rápidas e efetivas para o combate ao inseto, com pulverizações localizadas que podem auxiliar potencialmente na redução mencionada. Tomando como base a safra 2022/2023 (período entre maio de 2022 e abril de 2023), o número de plantas erradicadas por causa da doença foi de 7338. Uma análise interna identificou que uma planta é capaz de produzir o equivalente a 1,5 caixas de 40,8 Kg, que são comercializadas a um preço médio de R\$45,00 (logo, pode-se dizer que a erradicação das plantas representou uma perda de R\$495.315,00 no potencial de arrecadação da fazenda). Portanto, com a diminuição de 80% dessas perdas, estima-se que o fluxo de caixa da empresa registre um valor positivo de R\$396.252,00 a cada ano, valor que representa a diferença entre as perdas atuais (R\$495.315,00) e as perdas com a redução de 80% dos frutos perdidos (R\$99.063,00).

2.5 Análise econômica

A fim de se analisar economicamente este projeto, foram utilizados três indicadores que são recorrentes em situações similares e darão um melhor dimensionamento dos números envolvidos no projeto, sendo eles: o *Payback* descontado, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

2.5.1 *Payback* descontado

O *payback* descontado é um método para se estimar o período necessário para recuperar um investimento realizado, conforme descrito por Bruni e Famá (2017). É definido como o número de anos necessários para recuperar o investimento a partir dos fluxos líquidos de caixa descontados, como afirmado por Brigham e Ehrhardt et al. (2016). A aplicação deste método é crucial, especialmente quando os equipamentos utilizados têm uma vida útil limitada. Se o período de retorno calculado for maior que a vida útil desses equipamentos, o projeto em análise não é considerado rentável. Conforme explicado por Rasoto et al. (2012), para calcular o *payback* descontado, é necessário resolver a Inequação 1.

$$\textit{Payback} = \textit{mínimo} \{t\}, \textit{ tal que } \left(\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TMA)^t} \right) \geq |FC_0| \quad (1)$$

Em que:

TMA: Taxa Mínima de Atratividade

FC_t : Valor projetado de entradas no caixa

FC_0 : Valor absoluto do investimento inicial

n: número de anos em análise

t: ano em análise

A inequação diz que o *Payback* Descontado é alcançado quando a soma dos fluxos de caixa descontados é igual ou maior em magnitude (devido ao valor absoluto de FC_0) ao investimento inicial. Se o valor presente dos fluxos de caixa for suficiente para cobrir o investimento inicial, o *payback* é alcançado. Essa condição é verificada ao longo do tempo, somando os fluxos de caixa descontados.

2.5.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma técnica de avaliação de investimentos que leva em conta o valor do dinheiro ao longo do tempo, indicando o retorno mínimo necessário para manter inalterado o valor de mercado do projeto (GITMAN, 2017). Em essência, representa o valor que o investimento gera ou agrega. Esse método analítico considera o fluxo de caixa anual, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) da empresa e o investimento inicial. A TMA é uma taxa de juros que representa o retorno mínimo necessário para que um investimento seja considerado viável. Investimentos com VPL acima de zero são considerados viáveis, indicando que geram mais valor do que custam. Conforme Gitman (2017) explica, o cálculo do VPL pode ser realizado conforme mostrado na Equação 2.

$$VPL = \left(\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TMA)^t} \right) - FC_0 \quad (2)$$

Em que:

TMA: Taxa Mínima de Atratividade

FC_t : Valor projetado de entradas no caixa

FC_0 : Valor do investimento inicial

n: número de anos em análise

t: ano em análise

2.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma taxa de desconto imaginária aplicada a um fluxo de caixa, de forma a igualar os custos e os retornos provenientes da implementação de um projeto (CASTANHEIRA, 2016). Ambos são trazidos ao valor presente, ou seja, ao valor que faz o Valor Presente Líquido (VPL) se tornar zero. A TIR deve ser comparada à TMA da empresa para determinar se o projeto deve ser aceito (se a TIR for maior que a TMA) ou rejeitado (se a TIR for menor que a TMA). Em outras palavras, a TIR representa a taxa de retorno que torna um investimento tão atrativo quanto outras oportunidades disponíveis, levando em conta o valor do dinheiro ao longo do tempo. Pode ser calculado pela Equação 3.

$$VPL = 0 = \left(\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \right) - FC_0 \quad (3)$$

Em que:

TMA: Taxa Mínima de Atratividade

FC_t : Valor projetado de entradas no caixa

FC_0 : Valor do investimento inicial

n: número de anos em análise

t: ano em análise

2.5.4 Resultados

Os resultados dos indicadores de análise econômica supracitados serão apresentados a seguir. A equipe de engenharia da empresa estimou uma vida útil de 7 anos para as armadilhas e, sendo assim, este foi o período analisado.

Para se calcular o *payback* descontado, foi utilizado o fluxo de caixa descontado, conforme pode ser observado na Tabela 2. Para a TMA, utilizou-se da taxa de juros real do Brasil, que passou a ser de 6,40%, após o Copom (Comitê de Política Monetária) reduzir a taxa básica de juros de 13,25% a.a. (ao ano) para 12,75% a.a., no dia 20 de setembro de 2023. Vale ressaltar que, os juros reais representam a taxa de juros ajustada pela inflação, e, ao contrário da taxa bruta, é o valor que realmente afeta a economia (CNN BRASIL, 2023). O fluxo de caixa anual será de R\$371.523,96 (R\$396.252,00 referente à diminuição de perdas na lavoura, mais R\$17.271,96 referente à economia de mão-de-obra, menos R\$42.000,00 referente ao gasto com o plano anual de dados de R\$300 para cada uma das 140 armadilhas); assim como o

investimento inicial será de R\$423.494,69 (R\$2.159,09 referente aos serviços de engenharia, mais o custo de R\$3.009,54 para aquisição de componentes para cada uma das 140 armadilhas).

Tabela 2 – Payback descontado

| Payback descontado - TMA 6,40% | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|
| Ano | Fluxo de caixa | Fluxo de caixa descontado | Saldo |
| 0 | -R\$ 423.494,69 | -R\$ 423.494,69 | -R\$ 423.494,69 |
| 1 | R\$ 371.523,96 | R\$ 349.176,65 | -R\$ 74.318,04 |
| 2 | R\$ 371.523,96 | R\$ 328.173,55 | R\$ 253.855,51 |
| 3 | R\$ 371.523,96 | R\$ 308.433,78 | R\$ 562.289,30 |
| 4 | R\$ 371.523,96 | R\$ 289.881,38 | R\$ 852.170,67 |
| 5 | R\$ 371.523,96 | R\$ 272.444,90 | R\$ 1.124.615,58 |
| 6 | R\$ 371.523,96 | R\$ 256.057,24 | R\$ 1.380.672,82 |
| 7 | R\$ 371.523,96 | R\$ 240.655,30 | R\$ 1.621.328,12 |

Fonte: do Autor (2023)

Com base nos valores apresentados pela Tabela 2 e na Inequação 1, nota-se que o *payback* descontado ocorre em, aproximadamente, **um ano e três meses** (15 meses) após a implantação do sistema de armadilhas inteligentes:

$$\text{Payback} = \text{mínimo } \{t\}, \text{ tal que } \left(\frac{371.523,96}{(1 + 6,4)^1} + \dots + \frac{371.523,96}{(1 + 6,4)^7} \right) \geq | - 423.494,69 |$$

$$\therefore \text{Payback} = 1,23 \text{ anos} = 15 \text{ meses}$$

Por sua vez, a partir da Tabela 2 e da Equação 3, a TIR foi calculada em, aproximadamente **87%**:

$$0 = \left(\frac{371.523,96}{(1 + TIR)^1} + \dots + \frac{371.523,96}{(1 + TIR)^7} \right) - 423.494,69$$

$$\therefore \text{TIR} = 0,87 = 87\%$$

Finalmente, a Tabela 3 apresenta os valores de VPL calculados, a partir da Equação 2, para diferentes valores de TMA, a fim de demonstrar que o projeto é capaz de gerar lucro até mesmo para taxas muito elevadas. As taxas de desconto utilizadas na Tabela 3, sofreram variações percentuais, partindo-se da TMA de 6,40%, aumentando-se os percentuais, gradativamente, para valores que simbolizam taxas de juros reais escorchantes para o cenário macroeconômico brasileiro, de 2023.

Tabela 3 – VPL com variação da TMA

| VPL - variação da TMA | |
|------------------------------|------------------|
| TMA | VPL |
| 6,40% | R\$ 2.044.822,81 |
| 7,40% | R\$ 1.974.627,45 |
| 8,40% | R\$ 1.908.109,42 |
| 9,40% | R\$ 1.845.027,47 |
| 10,40% | R\$ 1.785.158,86 |
| 11,40% | R\$ 1.728.297,76 |
| 12,40% | R\$ 1.674.253,78 |
| 13,40% | R\$ 1.622.850,68 |

Fonte: do Autor (2023)

Destarte, de acordo com os valores obtidos por meio dos indicadores, verifica-se que a implantação do sistema de armadilhas se faz positiva, na medida em que o *payback* descontado retornou o valor do investimento dentro de um período satisfatório para a empresa, com a TMA de 6,40%. O VPL foi positivo para todos os valores de TMA analisados, que simulam taxas de juros reais, e a TIR atingiu um valor muito acima da inflação prevista para 2023 (4,62%, segundo dados do Boletim Focus do Banco Central do Brasil), assim como para a taxa básica de juros do Brasil (Selic), para outubro de 2023, no valor de 12,75% a.a., mostrando-se também muito superior à rentabilidade da maioria dos fundos de investimentos em renda fixa ou renda variável, ou investimentos em Títulos Públicos Federais.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.1 Recomendações para trabalhos futuros

O sistema, apesar de se mostrar viável economicamente, é passível de melhorias que podem ser implantadas ao longo dos anos. No sistema analisado, em alguns períodos do dia, previamente programados, a armadilha realizará a captação das imagens e posterior envio ao servidor, para processamento. Alternativamente, o algoritmo de processamento das imagens e detecção do psilídeo poderia ser processado localmente, em cada armadilha (sem necessidade de uso dos servidores da empresa para este fim). Dessa forma, têm-se como benefício a possibilidade de detecções ainda mais rápidas, o que justifica uma nova análise de viabilidade econômica.

Como outro ponto de melhoria, registra-se que o sistema descrito não prevê a realização de captura de imagens no período noturno. Sendo assim, a utilização de câmeras capazes de adquirir imagens no espectro infravermelho seria um outro fator a ser considerado. Além disso, experimentos de campo, realizados internamente na empresa, mostraram que o uso de

iluminação artificial favorece a atração do inseto, favorecendo, em tese, a detecção por parte das armadilhas.

O ZigBee é um protocolo sem fio eficiente em energia, operando em curto alcance (2,4 GHz) e adequado para redes de sensores. Em armadilhas inteligentes para identificação de insetos-praga, o ZigBee permite a comunicação entre as armadilhas, a coleta eficiente de dados sobre a presença de insetos, processamento local para tomada de decisões e possui baixo consumo de energia. Comparado às redes móveis 4G, o ZigBee oferece vantagens significativas, incluindo menor consumo de energia, custo reduzido e menor latência. Dessa forma, tem-se a possibilidade de estudar a viabilidade econômica para trabalhos futuros envolvendo o protocolo ZigBee (RAMYA; SHANMUGARAJ; PRABAKARAN, 2011).

Recomenda-se também que trabalhos futuros explorem a viabilidade do uso de *power banks* de menor custo, complementados por sistemas de recarga baseados em painéis fotovoltaicos de baixo custo. Ao considerar essa abordagem, é possível reduzir significativamente os custos operacionais associados à alimentação de armadilhas inteligentes para a detecção de psilídeos. A utilização de *power banks* mais acessíveis e eficientes, combinados com fontes de energia renovável, como os painéis fotovoltaicos, não apenas contribui para a sustentabilidade ambiental, mas também proporciona uma solução econômica e de longo prazo para o monitoramento de pragas agrícolas. Esta abordagem pode abrir portas para a implementação mais ampla de sistemas de detecção inteligente, democratizando o acesso a tecnologias agrícolas inovadoras e promovendo práticas agrícolas sustentáveis.

O estudo de viabilidade econômica realizado neste trabalho, utilizou-se da estimativa dos ganhos advindos de 80% de redução da queda dos frutos. No entanto, a redução na porcentagem de frutos perdidos advém não somente da detecção automatizada, mas também das tomadas de decisões gerenciais, como por exemplo, o quão efetivas são as pulverizações. Por isso, é importante destacar que a realização, no futuro, de estudos de viabilidade econômica, levando-se em conta maiores porcentagens de queda dos frutos, é de grande importância para que seja possível realizar comparações de prováveis cenários, estratificando a faixa da porcentagem de queda dos frutos de 65% a 80%.

Além disso, é de fundamental importância destacar que, futuramente, o trabalho pode se desmembrar em dois projetos, comparando-se a viabilidade econômica de se investir em mais capital humano para se realizar o monitoramento diário do psilídeo, com a viabilidade de se investir em armadilhas inteligentes, como já realizado neste presente trabalho.

3.2 Conclusão

Com base nas análises feitas, a proposta de automatizar a detecção dos psilídeos nas lavouras das fazendas do Grupo Terra Viva, através de armadilhas inteligentes, mostra-se economicamente viável. Por meio da análise realizada, a empresa considera, segundo seus parâmetros internos, que o investimento inicial é relativamente alto, mas o *payback* ocorrerá em pouco mais de um ano, fato que é extremamente satisfatório. O retorno financeiro, no período de sete anos (tomado como o tempo de vida útil das armadilhas), será maior que a rentabilidade da maioria dos fundos de investimentos, por mais arrojadas que sejam as aplicações, com uma TIR de 87% a.a. e, portanto, VPL positivo para todas as taxas de desconto consideradas.

Além disso, os benefícios qualitativos também são muito relevantes, pois percebe-se que o uso das armadilhas propostas pode proporcionar um monitoramento preciso, tomadas de decisões baseadas em dados, a redução do uso de pesticidas, a preservação dos inimigos naturais do inseto, a melhoria da qualidade dos frutos, a preservação da saúde das árvores, o aumento da confiança dos consumidores, o *compliance* com regulações e o fomento à pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Portanto, pode-se concluir que a implantação do sistema de armadilhas inteligentes trará muitos ganhos, tanto para a empresa (com o aumento da eficiência produtiva, por exemplo), como para a sociedade em geral (com a redução do uso de defensivos agrícolas, por exemplo).

REFERÊNCIAS

- AGRO BAYER. **Greening O Que é E Como Controlar essa Doença de Cítricos | Impulso Negócios EP. 40.** Disponível em: <<https://www.agro.bayer.com.br/impulso-news/greening-saiba-quais-sao-os-pontos-decisivos-para-o-controle-da-doenca>>. Acesso em: 20 de Setembro de 2023.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Estatísticas.** Disponível em <<https://www.bcb.gov.br/estatisticas>>. Acesso em: 31 de Outubro de 2023.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Focus – Relatório de Mercado.** Disponível em <<https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus>>. Acesso em: 31 de Outubro de 2023.
- BRIGHAM, E.F; EHRHARDT, M. C. **Administração financeira – Teoria e Prática.** 14. ed. São Paulo. Cengage Learning. 2016.
- BRUNI, A. L; FAMÁ, R. **As Decisões de Investimentos - Série Desvendando As Finanças.** 4. ed. São Paulo. Atlas. 2017.
- CASTANHEIRA, N. P. **Cálculo aplicado à gestão e aos negócios.** 1. ed. Curitiba. Intersaberes. 2016.
- CNN BRASIL. **Após corte da Selic, Brasil deixa de ter a maior taxa de juros reais do mundo; veja lista.** Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/apos-corte-da-selic-brasil-deixa-de-ter-a-maior-taxa-de-juros-reais-do-mundo-veja-lista/#:~:text=Com%20a%20Selic%20agora%20em,%2C%20com%206%2C61%25.>>>. Acesso em: 31 de Outubro de 2023.
- FUNDECITRUS. **Greening Huanglongbing.** Disponível em: <<https://www.fundecitrus.com.br/doencas/greening>>. Acesso em: 20 de Setembro de 2023.
- FUNDECITRUS. **Psilídeo *Diaphorina citri*.** Disponível em: <<https://www.fundecitrus.com.br/pragas/diaphorina-citri>>. Acesso em: 20 de Setembro de 2023.
- GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira.** 14. ed. São Paulo. Pearson. 2017.
- RAMYA, C. M.; SHANMUGARAJ, M.; PRABAKARAN, R. **Study on ZigBee technology.** 3rd International Conference on Electronics Computer Technology, Kanyakumari, Índia, 2011, pp. 297-301, doi: 10.1109/ICECTECH.2011.5942102.
- RASOTO, A. **Gestão financeira: Enfoque em inovação.** 1. ed. Curitiba: Aymarã Educação, 2012.
- REMBOSKI, Thainan Bystronski. **Uma proposta integrada de software e hardware para monitoramento de insetos-praga em plantações na forma de uma armadilha inteligente.** 2019. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

TERRA VIVA. **Sobre a Terra Viva.** Disponível em: <<https://www.terraviva.agr.br/copia-historia>>. Acesso em: 22 de Setembro de 2023.