



PROPOSTA DE UMA MODELAGEM MATEMÁTICA E COMPUTACIONAL APLICADA AO MONITORAMENTO DE ENTRADA DA FERRUGEM ASIÁTICA NA SOJA NO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL¹

Mateus D. Kuhn², Carlos E. Henkes³, Dr. Gerson Battisti⁴, Dr. Sandro Sawicki⁵

¹ Projeto de dissertação desenvolvido no âmbito do PPGMMC/UNIJUÍ.

² Bolsista CAPES; Mestrando em Modelagem Matemática e Computacional UNIJUÍ.

³ Bolsista CAPES; Mestrando em Modelagem Matemática e Computacional UNIJUÍ.

⁴ Professor colaborador do PPGMMC/UNIJUÍ.

⁵ Professor permanente do PPGMMC/UNIJUÍ.

RESUMO

Este trabalho explora o uso da tecnologia *LoRaWAN* para coletar dados meteorológicos, visando desenvolver um modelo matemático e computacional que possa computar a favorabilidade de entrada da ferrugem asiática na soja em tempo real. Causada pelo fungo *Phakopsora Pachyrhizi*, essa doença representa uma ameaça significativa à produção de soja. Todos os dados são capturados e transmitidos por uma infraestrutura *LoRaWAN* instalada em Santa Rosa/RS, armazenados em série histórica e acessíveis em tempo real. A implementação de sensores permite o monitoramento contínuo das condições ambientais, facilitando a tomada de decisões quanto ao uso de fungicidas, promovendo práticas agrícolas sustentáveis e aumentando a produtividade. A integração de *LoRaWAN* se destaca como uma solução inovadora para enfrentar os desafios da ferrugem asiática.

Palavras-chave: IoT. LoRa. Ferrugem Asiática. Smart Farming. Monitoramento em Tempo Real.

ABSTRACT

This work explores the use of *LoRaWAN* technology to collect meteorological data in order to develop a mathematical and computational model that can compute the likelihood of Asian rust entering soybeans in real time. Caused by the fungus *Phakopsora Pachyrhizi*, this disease poses a significant threat to soybean production. All the data is captured and transmitted by a *LoRaWAN* infrastructure installed in Santa Rosa/RS, stored in historical series and accessible in real time. The implementation of sensors allows for continuous monitoring of environmental conditions, facilitating informed decisions and reducing the excessive use of fungicides, promoting sustainable agricultural practices and increasing productivity. The integration of *LoRaWAN* stands out as an innovative solution for tackling the challenges of Asian rust.

Keywords: IoT. LoRa. Asian rust. Smart farming. Real-time monitoring.

INTRODUÇÃO

O Brasil conquistou uma posição de destaque no cenário agrícola global, emergindo como um dos maiores produtores de grãos do mundo. Essa conquista é um testemunho do



potencial agrícola do país, impulsionado por suas vastas extensões de terras férteis, clima favorável e avanços tecnológicos no setor (FERREIRA; STABACK, 2023).

Conforme Neto e Raiher (2024), a soja em grãos ocupa uma posição de destaque na agricultura brasileira, fundamentada em diversas razões: representa a cultura com a maior extensão territorial dedicada a sua produção, abarcando impressionantes 55% de toda a área cultivada; além disso, ela se configura como uma das culturas mais relevantes para a geração de renda no meio rural, contribuindo significativamente com 51% do valor total da produção agrícola.

Embora a soja seja uma cultura de grande importância para a agricultura brasileira, ela também apresenta fragilidades significativas. Uma das principais preocupações está relacionada à vulnerabilidade da soja a pragas e doenças, como a ferrugem asiática, que pode resultar em perdas substanciais de produção se não for devidamente controlada (GOULART; ROESE; MELO, 2015).

A contaminação da soja pela ferrugem asiática é um desafio que afeta significativamente a produção agrícola em todo o mundo. De acordo com Goulart, Roese e Melo (2015) a ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora Pachyrhizi*, é uma doença que ataca as plantas de soja, comprometendo seu crescimento, desenvolvimento e, por fim, a produtividade. Essa ameaça tem despertado crescente preocupação entre agricultores, pesquisadores e a indústria agrícola, uma vez que pode resultar em perdas substanciais de safras e, conseqüentemente, impactos econômicos significativos.

O método mais comum para controle da ferrugem asiática é a aplicação calendarizada de fungicidas, realizada em intervalos fixos devido à dificuldade de identificar a doença no início (GODOY *et al.*, 2009). No entanto, essa prática pode resultar em uso excessivo de fungicidas, desperdiçando dinheiro e recursos quando as condições não favorecem o desenvolvimento da doença (GODOY; HENNING, 2008). Além disso, pode levar ao desenvolvimento de resistência em patógenos, tornando-os mais difíceis de controlar no futuro, conforme se adaptam aos produtos químicos, reduzindo a eficácia dos fungicidas (FLORES, 2020).

O monitoramento em tempo real na agricultura de precisão pode impactar diretamente na redução e resolução de doenças que afetam as plantações. É importante ressaltar que a capacidade de coletar dados em tempo real, como informações sobre condições



meteorológicas, umidade do solo e o estado de saúde das plantas, permite que os agricultores monitorem de perto o ambiente de suas culturas (ALBERTON, 2019). Isso é fundamental para identificar doenças precocemente, antes que elas se espalhem de forma descontrolada, permitindo intervenções oportunas para limitar os danos.

Nesse sentido, a Internet das Coisas (IoT) possui grande importância no contexto da agricultura, ao conectar diversos dispositivos à internet, permitindo a coleta de dados em tempo real e análises avançadas que possibilitam aos agricultores tomar decisões mais informadas e precisas. Isso não apenas aumenta a eficiência na produção, mas também contribui para a sustentabilidade e o monitoramento ambiental (OLIVEIRA; PEDROSA; BERNARDINO, 2021).

Nesse contexto, a tecnologia *LoRa*, que significa "*Long Range*" (Longo Alcance), surge como uma solução, oferecendo comunicação sem fio de longo alcance, baixo consumo de energia e custo acessível, sendo especialmente adequada para ambientes agrícolas (CITONI *et al.*, 2019). O protocolo *LoRaWAN*, utilizado sob *LoRa*, permite monitoramento contínuo e em tempo real das condições ambientais e do estado das culturas, destacando-se por operar com baixo consumo de energia e cobrir grandes áreas geográficas (MILES *et al.*, 2020).

Com esse cenário, faz-se necessário um sistema que analise e processe os dados coletados em tempo real com vistas a auxiliar os produtores na tomada de decisões. A tecnologia *LoRaWAN* e *LoRa* são importantes para essa transformação. Conectando sensores à internet, *LoRaWAN* permite a coleta em tempo real, enquanto a *LoRa* proporciona uma comunicação eficiente mesmo em grandes áreas agrícolas.

Contudo, para a realização deste trabalho, é utilizado *LoRaWAN* para transmitir dados oriundos de uma estação meteorológica, com o objetivo de criar um modelo matemático e computacional para computar a favorabilidade de entrada da ferrugem asiática na soja gerando *insights* que podem ser utilizados para a tomada de decisões, especialmente no que se refere à aplicação de fungicidas. Essa combinação reduz custos operacionais desnecessários, podendo, ainda, reduzir o uso de agrotóxicos e, conseqüentemente, diminuir a presença de resíduos químicos nos grãos, a contaminação do solo, água e ar, promovendo uma agricultura mais sustentável e segura para a saúde pública e o meio ambiente. Além disso, essa abordagem promove a sustentabilidade agrícola, em linha com os Objetivos de



Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Agenda 2030 das Nações Unidas, reduzindo o impacto ambiental e melhorando a eficiência dos recursos utilizados na agricultura.

METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizado um estudo do estado-da-arte sobre *LoRa*, *LoRaWAN*, *IoT* e fitopatologias que envolvem a produção de soja visando compreender suas características, modos de propagação, infecção e contaminação, formas de funcionamento da infraestrutura *LoRa*, bem como seus modos de aplicações através de livros e artigos científicos. Após, realizou-se estudos acerca da ferrugem da soja visando compreender as condições ideais para o desenvolvimento e seu modo de infecção.

Para a realização deste trabalho, no que tange a coleta de dados, serão utilizados dados oriundos de uma estação meteorológica, localizada no município de Santa Rosa/RS. Esta estação fornece os seguintes dados: temperatura do ar, umidade relativa do ar, luminosidade, pluviometria, direção e velocidade do vento. Contudo, os dados utilizados no desenvolvimento da modelagem matemática serão dados de temperatura e umidade relativa do ar.

A estrutura do banco de dados foi projetada e modelada de modo que possa armazenar todas as variáveis que são coletadas pela estação. Devido a sua robustez e facilidade de integração com outras ferramentas, o banco selecionado é o *PostgreSQL*. Este banco de dados está alocado nos servidores do *Smart LiveLab*, na Unijuí.

Por meio da análise da base de dados, alimentada pela estação meteorológica, busca-se classificar os dados coletados, especificamente temperatura e umidade, para identificar diferentes cenários que favorecem a contaminação da cultura de soja pela ferrugem asiática. Para essa classificação, serão utilizadas árvores de decisão, com um modelo distinto para cada cenário identificado. O objetivo é criar um modelo matemático e computacional de predição capaz de calcular a favorabilidade de infecção nos dados já existentes e dados em tempo real, gerando *insights*. Neste passo, para realizar a análise e classificação de tais dados, modelagens de dados e técnicas de aprendizado de máquina serão estudadas.

Uma ferramenta de visualização deverá ser desenvolvida para facilitar o compartilhamento destes *insights*. Essa ferramenta disponibilizará uma página na internet,



será implementada com diferentes tecnologias e linguagens de programação, como *NodeJS*, *Node-RED*, *SQL*, *JavaScript* e *HTML*.

Desta forma, este estudo emprega uma abordagem metodológica que incorpora múltiplos tipos de pesquisa, incluindo pesquisa quantitativa e pesquisa de campo. Pesquisa de campo porque os dados coletados pela estação meteorológica, como temperatura e umidade, são coletados diretamente no ambiente natural. Ainda, pesquisa quantitativa porque tais dados fornecidos são numéricos, proporcionando uma base para análise estatística e quantificação de padrões ou tendências observadas.

Quanto à fonte de pesquisa, considera-se como primária devido ao fato de que os dados são coletados diretamente do ambiente natural, através da estação meteorológica, monitorando as condições ambientais relevantes. Esses dados, como temperatura e umidade, são obtidos de forma direta e original, sem passar por nenhum tipo de interpretação ou filtragem adicional, o que os caracteriza como fonte primária de informação para este estudo.

Com isso, objetiva-se obter resultados quantitativos a partir das análises feitas por meio da modelagem dos dados, identificando as condições ideais para a entrada da ferrugem da soja na soja, gerando *insights* para auxiliar na tomada de decisões quanto a aplicação de fungicidas.

CULTIVO DE SOJA

A soja (*Glycine max*) é uma cultura agrícola de grande importância para a economia global e a segurança alimentar. Segundo Ribeiro *et al.* (2023), a soja é o quarto grão mais produzido e consumido mundialmente, ficando atrás apenas do milho, trigo e arroz, e é a principal oleaginosa cultivada anualmente em escala mundial. Os principais países produtores de soja são o Brasil, os Estados Unidos e a Argentina, com o setor de produção de soja emergindo como um dos segmentos agrícolas que mais cresceram nas últimas décadas.

De acordo com o USDA (2024), a produção global de soja na safra 2023/2024 atingiu cerca de 396,85 milhões de toneladas. O Brasil ocupa a primeira posição como maior produtor mundial de soja, com cerca de 155 milhões de toneladas, representando 39,06% da produção mundial. Os Estados Unidos ficam em segundo lugar, com 113,34 milhões de toneladas (28,56% da produção mundial), seguidos pela Argentina, com 50 milhões de toneladas (12,60% da produção mundial).



O sucesso da plantação de soja depende de vários fatores ambientais e de manejo. Farias, Nepomuceno e Neumaier (2007) destacam que o excesso de chuvas, secas, temperaturas extremas, luminosidade e fertilidade do solo são determinantes para a produtividade da soja e podem favorecer o surgimento de doenças e pragas. Durante o ciclo de vida da soja, a disponibilidade de água e as condições de temperatura são de extrema importância. A germinação é ideal em temperaturas entre 20°C e 30°C, com 25°C sendo a temperatura ótima (Pereira, 2002). A água, constituindo aproximadamente 90% do peso da soja, é fundamental para o desenvolvimento saudável da planta. Para garantir a máxima produtividade, é essencial monitorar e gerir esses fatores de forma eficaz.

Entre as doenças que ameaçam a produtividade da soja, a ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora Pachyrhizi*, é uma das mais devastadoras. Essa doença pode comprometer significativamente o rendimento das lavouras, causando perdas substanciais se não for adequadamente controlada (Goulart, Roese e Melo, 2015). O método tradicional de controle da ferrugem asiática é a aplicação calendarizada de fungicidas, realizada em intervalos fixos devido à dificuldade de identificar a doença no início. No entanto, essa prática pode levar ao uso excessivo de fungicidas e ao desenvolvimento de resistência em patógenos. Portanto, estratégias de manejo mais precisas e sustentáveis, que considerem as condições reais da lavoura, são essenciais para proteger a produtividade da soja e a saúde ambiental.

FERRUGEM ASIÁTICA: DESAFIOS E IMPACTOS

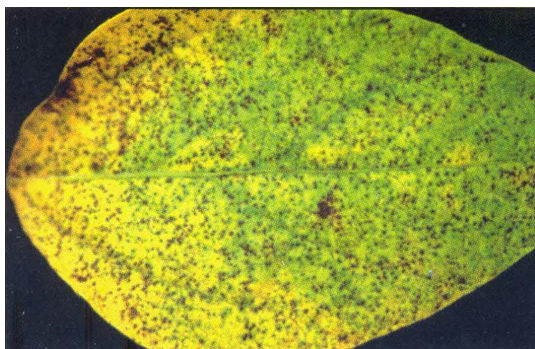
A ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora Pachyrhizi*, representa um dos principais desafios enfrentados pela indústria agrícola, especialmente na produção de soja. Conforme Yorinori e Paiva (2002), a ferrugem foi identificada pela primeira vez no Brasil em 2001, causando preocupação imediata entre os agricultores. A rápida disseminação da doença e seus impactos devastadores nas plantações levaram à implementação de medidas de controle e intensa pesquisa para enfrentar esse desafio.

Desde então, a ferrugem asiática vista na Figura 1, permanece como uma das principais preocupações na agricultura brasileira, exigindo vigilância constante e estratégias de manejo eficazes para proteger as plantações de soja. Essa doença foliar, que em condições ideais para o seu desenvolvimento chegou a causar perdas de até 90% da produção, tem sido



uma preocupação crescente devido aos seus impactos significativos na produtividade das plantações e nos sistemas de cultivo em todo o mundo (PELIN; FILHO; NESI, 2020).

Figura 1 - Folha de soja acometida pela ferrugem asiática



Fonte: YORINORI; PAIVA (2002, p. 3)

O fungo causador da ferrugem asiática, é sensível às condições climáticas. A umidade relativa do ar e a temperatura, quando combinados em intervalos específicos, possibilitam condições ideais para o surgimento e desenvolvimento do fungo (GOULART; ROESE; MELO, 2015). Em climas tropicais e subtropicais, onde essa doença é mais prevalente, a combinação de altas temperaturas, geralmente em um intervalo de 20 a 24 graus Celsius, e um nível elevado de umidade relativa, que muitas vezes excede 80%, cria um ambiente propício para a infecção da planta pelo fungo causador da ferrugem asiática (PERANSONI *et al.*, 2020). Além disso, a presença de chuvas frequentes ou orvalho nas folhas da planta favorece a germinação dos esporos do fungo e sua penetração nos tecidos vegetais. De acordo com Rosa *et al.* (2023), para que ocorra a infecção pelo fungo, é necessário que a superfície foliar da soja esteja molhada ou úmida por pelo menos 6 horas, onde o auge de contaminação ocorre entre 10 a 12 horas consecutivas de molhamento foliar.

Entender como esses fatores ambientais afetam a capacidade de entrada, infecção e progressão da ferrugem asiática é importante para o manejo da doença. A infecção ocorre quando o fungo, causador da ferrugem asiática, entra e se estabelece na planta hospedeira, iniciando o processo de colonização dos tecidos vegetais. Este estágio marca o começo da presença do patógeno na planta, mesmo antes de quaisquer sintomas visíveis. A incidência da ferrugem asiática refere-se à proporção de plantas infectadas em uma área cultivada (MEIRA, 2008). Por outro lado, a severidade da doença mede o grau de dano visível nas plantas



infectadas, geralmente expresso como a porcentagem da área foliar afetada (HIKISHIMA *et al.*, 2010).

Dessa forma, o ciclo de vida da ferrugem asiática da soja começa com a liberação de esporos que são transportados pelo vento até as folhas da planta hospedeira. Uma vez nas folhas, os esporos germinam sob condições favoráveis de umidade e temperatura, formando estruturas de infecção que penetram nos tecidos foliares. Dentro da planta, o fungo se desenvolve, criando pústulas visíveis na superfície das folhas, onde novos esporos são produzidos. Estes esporos são liberados e dispersos, iniciando novos ciclos de infecção (ANDRADE; ANDRADE, 2002). Este processo contínuo pode causar desfolha precoce e significativa redução no rendimento das lavouras, especialmente em condições climáticas que favorecem a alta umidade e temperaturas moderadas a altas, que são ideais para o crescimento e reprodução do fungo.

Um dos desafios para o controle da ferrugem asiática, encontra-se na identificação do surgimento do fungo em seu início. Dessa forma, muitos produtores de soja adotam o método de aplicação de fungicidas de forma calendarizada como uma medida preventiva. Ao programar aplicações regulares de fungicidas, os agricultores podem reduzir a probabilidade de infecção pela ferrugem asiática, mesmo antes que os sintomas se tornem visíveis nas folhas das plantas. No entanto, este método de aplicação pode resultar em um uso excessivo de fungicidas, o que pode ter impactos negativos tanto ambientais quanto econômicos. O uso frequente de produtos químicos pode levar ao desenvolvimento de resistência por parte do fungo, tornando-o menos suscetível aos tratamentos (GODOY; HENNING, 2008). Além disso, o custo associado à compra e aplicação regular de fungicidas pode representar uma carga financeira significativa.

Nesta safra de 2023/2024, houve a ação do fenômeno climático *El Niño*. Durante os períodos de *El Niño*, ocorrem alterações significativas nos padrões de temperatura e precipitação em várias regiões produtoras de soja, o que pode criar um ambiente propício para o desenvolvimento do fungo causador da ferrugem asiática. A combinação de temperaturas mais elevadas e aumento da umidade pode acelerar o ciclo de vida do fungo e aumentar a incidência da doença nas plantações (MINCHIO *et al.*, 2016).

De acordo com a Embrapa (2024), dados publicados até o dia 31 de janeiro, mostram que a safra de 2023/2024 teve um aumento de 52,4% nos casos confirmados de ferrugem



asiática em relação ao mesmo período da safra anterior. Conforme a Companhia Nacional de Abastecimento Conab (2024), as condições meteorológicas desafiaram o manejo da ferrugem asiática, com o excesso de chuvas, a eficácia dos defensivos agrícolas foi comprometida. À medida que a cultura se desenvolve, o controle da doença tornou-se menos eficiente, facilitando a instalação e disseminação da ferrugem. Como resultado, os esporos da doença estão presentes em todas as regiões do estado, e há relatos de pequenas perdas nas colheitas devido à sua incidência.

Em suma, a ferrugem asiática continua sendo um desafio para a indústria agrícola, especialmente na produção de soja. Sua rápida disseminação, combinada com a sensibilidade do fungo às condições climáticas ideais, representa uma ameaça constante para as plantações. O aumento dos casos confirmados na safra de 2023/2024, influenciado pelo fenômeno climático *El Niño* e condições meteorológicas favoráveis ao fungo, destaca a importância contínua de estratégias de manejo eficazes e vigilância constante para proteger as plantações e minimizar as perdas decorrentes da ferrugem asiática.

IOT NA AGRICULTURA

A Internet das Coisas (IoT) está revolucionando a agricultura, trazendo inovações para otimizar a produção agrícola, aumentando a eficiência e reduzindo custos. Por meio da IoT, os agricultores podem monitorar e gerenciar remotamente uma variedade de aspectos em suas fazendas, desde o clima e as condições do solo até o controle de máquinas agrícolas.

Para Oliveira, Pedrosa e Bernardino (2021), a IoT parte do princípio em que qualquer tipo de dispositivo, inserido em qualquer âmbito, conecta-se à internet e compartilha dados. Ao conectar sensores e dispositivos à internet, a IoT permite a coleta de dados em tempo real e análises avançadas que possibilitam aos agricultores tomar decisões mais informadas e precisas. Isso não apenas aumenta a eficiência na produção, mas também contribui para a sustentabilidade, o monitoramento ambiental e a gestão inteligente dos recursos agrícolas (ESCOLA *et al.*, 2021).

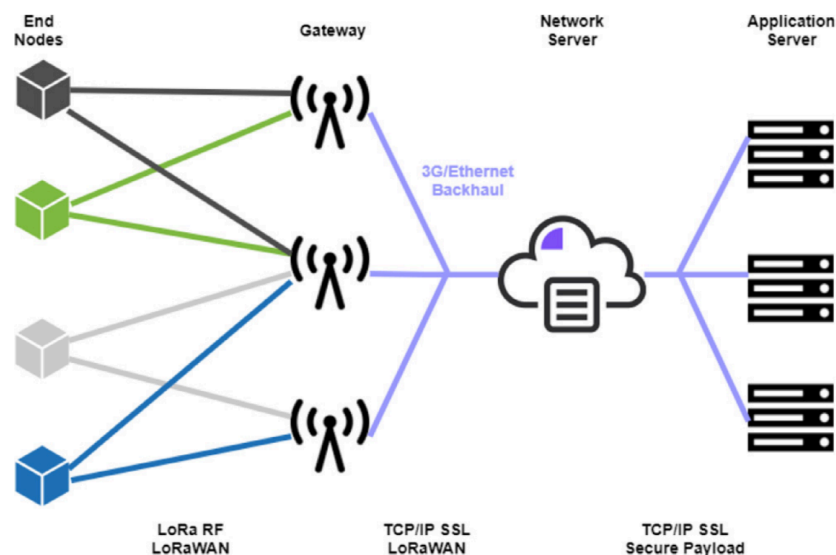
Um dos aspectos mais significativos do uso da IoT na agricultura é a implementação de redes de sensores de longo alcance, como a tecnologia *LoRa*. De acordo com Mroue *et al.* (2018), *LoRa* é uma tecnologia de comunicação sem fio que permite conexões de longo alcance com baixo consumo de energia, ideal para aplicações de Internet das Coisas (IoT).



LoRaWAN é o protocolo que opera sobre a tecnologia *LoRa*, permitindo a criação de redes que suportam transmissão de dados em tempo real, com ampla cobertura e eficiência energética, sendo especialmente útil para monitoramento em áreas agrícolas e remotas (PAGANO *et al.*, 2022). Muitas vezes, as áreas rurais têm uma extensão considerável, o que torna complexa a implantação de tecnologias de comunicação sem fio tradicionais, que podem ter alcance limitado e exigir uma infraestrutura complexa. Isso torna a tecnologia *LoRaWAN* uma escolha ideal para a implantação de sistemas de monitoramento e controle no contexto agrícola.

Atualmente há uma gama muito ampla de modelos de sensores disponíveis, cada um com suas características e diferentes formas de funcionamento. Há sensores que captam a umidade do ar, umidade do solo, sensores de temperatura, radiação solar, posicionamento global, pressão atmosférica, ruído, velocidade e direção do vento, e muitos outros. Cada tipo de sensor pode possuir aplicabilidades distintas, onde cada um é responsável por fornecer um tipo específico de informação (MORAIS; SADOK; KELNER, 2019). Na Figura 2 é exposta uma arquitetura *LoRaWAN*.

Figura 2 - Arquitetura *LoRaWAN*



Fonte: Mroue *et al.* (2018, p. 1)

Como pode ser visto na Figura 2, há os *End Nodes* que são os sensores propriamente ditos, estes possuem como objetivo detectar ou medir uma variável específica em um



ambiente físico e converter essa informação em um valor digital (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020). Os dados coletados por estes sensores são transmitidos em uma rede *LoRa* através do protocolo *LoRaWAN* a um *Gateway*, este *Gateway* recebe essas informações e por meio de uma conexão com a internet as informações são transmitidas a um servidor de rede. Posteriormente, esses dados poderão ser consumidos por aplicações, aplicações de visualizações, aplicações de análises e outras.

Ao integrar sensores *LoRa* em vários locais, no contexto da agricultura, é possível coletar uma ampla gama de dados em tempo real, como umidade do solo, temperatura, umidade do ar, níveis de nutrientes, geolocalização e até mesmo informações meteorológicas. Com base nessas informações, é possível tomar decisões mais precisas e oportunas em relação ao manejo da irrigação, aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas, programação de colheita e outras práticas agrícolas (PAGANO *et al.*, 2022). Além disso, através da coleta e análise de dados, a IoT na agricultura também permite a detecção precoce de problemas, como pragas, doenças e estresses ambientais, ajudando a minimizar perdas e aumentar a produtividade.

Neste estudo, será utilizado a tecnologia de comunicação *LoRa* para a transmissão de dados em tempo real. A utilização de *LoRa* como meio de transmissão oferece uma solução eficiente e confiável para a coleta e transmissão de dados, permitindo uma monitorização contínua. Esses dados são coletados a cada 5 minutos e transmitidos para um servidor central, onde são armazenados e analisados. Com o uso desses dados, este trabalho busca desenvolver um modelo matemático e computacional para traçar a favorabilidade do ambiente em relação à entrada da ferrugem asiática na lavoura por meio da análise dos dados coletados e transmitidos via *LoRaWAN*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a crescente importância da soja para a economia brasileira e global, o monitoramento preciso e em tempo real das condições ambientais torna-se fundamental para enfrentar os desafios de doenças como a ferrugem asiática. A integração da Internet das Coisas (IoT) e de tecnologias como *LoRa* proporciona uma abordagem inovadora e eficiente à recolha e análise de dados, permitindo a detecção precoce e a gestão adequada desta doença devastadora.

O uso de sensores para monitorar variáveis como temperatura e umidade relativa do ar podem permitir a criação de modelos preditivos que podem prever a favorabilidade do ambiente em relação à infecção da cultura da soja pela ferrugem asiática. Com estes dados, os agricultores podem tomar decisões mais informadas, adaptando as suas práticas de gestão para minimizar o uso excessivo de fungicidas, fazendo aplicações oportunas, minimizando a contaminação dos compartimentos ambientais.

Ainda, esta abordagem promove a sustentabilidade agrícola, em linha com os Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Agenda 2030 das Nações Unidas, reduzindo o impacto ambiental e melhorando a eficiência dos recursos utilizados na agricultura.

Portanto, a implementação de um sistema de monitoramento baseado em *LoRa* aliado a um modelo matemático e computacional preditivo pode aumentar a produtividade das lavouras de soja, e também contribuir para uma agricultura mais sustentável. O trabalho aqui proposto, que integra tecnologias avançadas com práticas agrícolas, destaca-se como uma ferramenta estratégica e promissora para enfrentar os desafios da cultura da soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTON, W. L. et al. Gerenciamento de dados em agricultura de precisão. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019

ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. d. A. Ferrugem asiática: uma ameaça à sojicultura brasileira. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Chapadão do Sul: Fundação Chapadão, 2002.

CITONI, B. et al. Internet of things and lorawan-enabled future smart farming. IEEE Internet of Things Magazine, IEEE, v. 2, n. 4, p. 14–19, 2019.

CONAB. Boletim da Safra de Grãos. 2024. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim--da-safra-de-graos>>. Acesso em: 24 mar 2024.

EMBRAPA. Consórcio Antiferrugem. 2024. Disponível em: <<http://www.consorcioantiferrugem.net/#/numeros>>. Acesso em: 24 mar 2024.



ESCOLA, J. P. L. et al. Análise de Área de cobertura de dispositivo iot para monitoramento em smart farm. RISTI : Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, AISTI - Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, n. 42, p. 1–11, 2021. ISSN 1646-9895.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

FERREIRA, R. B.; STABACK, D. O PERFIL LOCACIONAL DA SOJA: UM ESTUDO DAS MESORREGIÕES PARANAENSES PARA OS ANOS DE 2000, 2010 E 2020/SOYBEAN LOCATION PROFILE: A STUDY OF THE REGIONS OF PARANÁ STATE FOR THE YEARS 2000, 2010 AND 2020. Informe Gepec, v. 27, n. 2, p. 9-25, 2023.

FLORES, T. V. et al. Controle químico e biológico da ferrugem asiática da soja. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Grande Dourados, 2020.

GODOY, C. V. et al. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. Tropical Plant Pathology, v. 34, p. 56-61, 2009.

GODOY, C. V.; HENNING, A. A. Tratamento de semente e aplicação foliar de fungicidas para o controle da ferrugem-da-soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, SciELO Brasil, v. 43, p. 1297–1302, 2008.

GODOY, C. V.; HENNING, A. A. Tratamento de semente e aplicação foliar de fungicidas para o controle da ferrugem-da-soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, p. 1297-1302, 2008.

GOULART, A. C. P.; ROESE, A. D.; MELO, C. L. P. Integração do tratamento de sementes com pulverização de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja. Bioscience Journal, v. 31, n. 3, p. 737-747, 2015.

HIKISHIMA, M. et al. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. Tropical Plant Pathology, Sociedade Brasileira de Fitopatologia, v. 35, n. 2, p. 96–103, Mar 2010. ISSN 1982-5676.



MEIRA, C. A. A. Processo de Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados para a Análise e o alerta de doenças de culturas agrícolas e sua aplicação na ferrugem do cafeeiro. Tese de Doutorado, Campinas-SP, UNICAMP, 2008.

MILES, B. et al. A study of lorawan protocol performance for iot applications in smart agriculture. *Computer Communications*, v. 164, p. 148–157, 2020. ISSN 0140-3664.

Mroue, H.; Nasser, A.; Hamrioui, S.; Cruz, E. Analytical and Simulation study for LoRa Modulation, 2018.

NETO, A. O. d. A.; RAIHER, A. P. Impacto socioeconômico da cultura da soja nas áreas mínimas comparáveis do Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural, Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural*, v. 62, n. 1, p. e267567, 2024. ISSN 0103-2003.

OLIVEIRA, P.; PEDROSA, I.; BERNARDINO, J. Iot nas smart cities: Revisão da literatura. *RISTI : Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, Lousada*, n. E42, p. 330–343, 2021. ISSN 1646-9895.

PAGANO, A. et al. A survey on lora for smart agriculture: Current trends and future perspectives. *IEEE Internet of Things Journal, IEEE*, v. 10, n. 4, p. 3664–3679, 2022.

PERANSONI, A. d. C. M. et al. Condições meteorológicas associadas a ocorrência da ferrugem asiática da soja na fase assintomática. *Geoambiente on-line*, n. 37, p. 238–260, 2020. ISSN 1679-9860.

PEREIRA, C. R. Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais. Universidade Federal de Viçosa, 2002.

RIBEIRO, I. G. et al. Efeitos do crédito rural sobre a produção de soja na região do matopiba. *Brazilian Review of Economics & Agribusiness/Revista de Economia e Agronegócio*, v. 21, n. 1, 2023.

ROSA, G. F. da et al. Monitoramento do inóculo para controle de ferrugem asiática no estado do rio grande do sul durante a safra 2021/2022. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218*, v. 4, n. 2, p. e422738–e422738, 2023.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. de. Sensores industriais: fundamentos e aplicações. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2020

SALÃO DO CONHECIMENTO

UNIJUÍ 2024

Biomás do Brasil: diversidade, saberes e tecnologias sociais

De 23 a 27 de setembro de 2024.



XXXII Seminário de Iniciação Científica
XXIX Jornada de Pesquisa
XXV Jornada de Extensão
XIV Seminário de Inovação e Tecnologia
X Mostra de Iniciação Científica Júnior
II Seminário Acadêmico da Graduação UNIJUÍ



USDA, F. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. 2024

YORINORI, J.; PAIVA, W. Ferrugem da soja: *Phakopsora pachyrhizi* sydow. Londrina: Embrapa Soja, 2002.