

# Sistema de Agricultura de Precisão para o Manejo Sustentável de Recursos Hídricos baseado na Fusão de Dados de Sensores IoT e Imagens de Satélite

Fernando Daniel Marcelino

Orientadora: Profa. Dra. Fernanda Quelho Rossi

Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP  
Instituto de Ciência e Tecnologia  
Bacharelado em Engenharia de Computação

8 de Dezembro de 2025

# Sumário

- 1 Introdução
- 2 Definição do Problema e Objetivos
- 3 Materiais e Métodos
- 4 Resultados
- 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

# Contexto e motivação

- **Pressão sobre os recursos hídricos:**
  - Aumento da **demanda** global por alimentos
  - **Escassez** e **distribuição desigual** de água
  - **Impactos ambientais** da agricultura intensiva
- **Desafio:** produzir mais com **menor desperdício de água** e **menor impacto ambiental**
- **Alinhamento com a Agenda 2030 da ONU:**
  - ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável
  - ODS 6 – Água Potável e Saneamento
  - ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis

# Desafios no manejo hídrico

- Manejo da irrigação muitas vezes baseado em:
  - **Experiência empírica** do produtor
  - **Informações dispersas e pouco integradas**
- **Riscos associados:**
  - Superirrigação ⇒ **desperdício de água, energia e fertilizantes**
  - Subirrigação ⇒ **estresse hídrico e perda de produtividade**
- Necessidade de **ferramentas de apoio à decisão** com visão espaço-temporal do uso de água no talhão

# Tecnologias habilitadoras

- **Internet das Coisas (IoT):**
  - Sensores de **umidade do solo, temperatura/umidade do ar, vazão, pressão**, etc.
  - Medições de **alta frequência temporal** diretamente no campo
- **Sensoriamento remoto (SR):**
  - **Imagens multiespectrais** (Sentinel-2, Landsat 8/9, HLS) e **SAR** (Sentinel-1)
  - **Visão** espacialmente **contínua** da área cultivada
- **Aprendizado de máquina:**
  - Modelos para **estimar indicadores de estado hídrico**
  - Geração de **mapas de recomendação de irrigação** em **nível de talhão**

# Lacuna na literatura

- Trabalhos em **IoT na agricultura**:
  - Foco em arquiteturas de **monitoramento e automação** de irrigação
  - Ênfase em **sensores de campo** e lógica de decisão local
- Trabalhos em **sensoriamento remoto e aprendizado de máquina**:
  - Estimativa de **evapotranspiração, umidade do solo, uso de água e zonas de manejo**
- Porém:
  - Poucas propostas descrevem **arquiteturas completas** que integrem **séries temporais de sensores IoT e produtos orbitais** em um fluxo operacional para **apoio à decisão em irrigação**

# Definição do problema

- Adoção de IoT e sensoriamento remoto ocorre, em geral, de forma **fragmentada**
- **Ausência de metodologias** consolidadas de **fusão de dados** que conciliem:
  - **Alta frequência temporal dos sensores de campo**
  - **Cobertura espacial e multiespectral** das imagens de satélite

## Questão Central

Como integrar, de forma sistemática, dados de sensores IoT e imagens de satélite para apoiar decisões de irrigação em agricultura de precisão, reduzindo desperdício de água e aumentando a eficiência produtiva?

# Objetivo geral

## Objetivo geral

**Propor e desenvolver um sistema de agricultura de precisão focado no manejo hídrico sustentável, baseado na fusão de dados de sensores IoT e imagens de satélite, com o propósito de gerar mapas de recomendação de irrigação mais precisos e eficientes.**



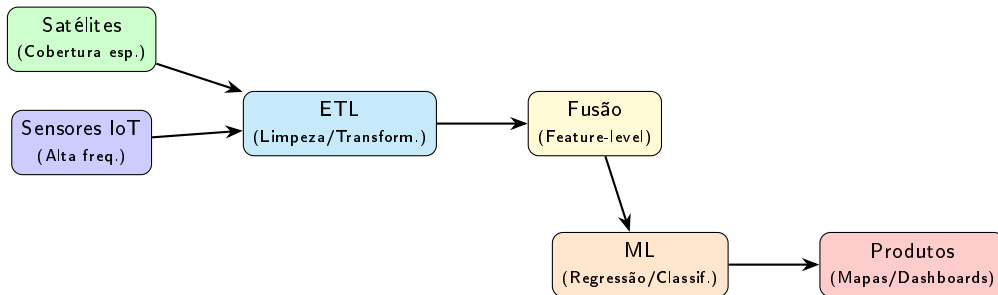
# Objetivos específicos (1/2)

- ❶ Revisar a literatura e o estado da arte sobre:
  - Tecnologias de **IoT** aplicadas à agricultura
  - **Sensoriamento remoto** voltado ao manejo hídrico
  - Técnicas de **fusão de dados e aprendizado de máquina** em agricultura de precisão
- ❷ Definir a arquitetura do sistema, especificando:
  - Componentes de **hardware** para coleta de dados
  - Plataforma de **software** para ingestão e armazenamento
- ❸ Estabelecer a metodologia para aquisição e processamento de imagens orbitais

## Objetivos específicos (2/2)

- ④ Desenvolver um modelo de *machine learning* para realizar a fusão dos dados, correlacionando medições pontuais e de alta frequência (IoT) com dados espaciais e de menor frequência (satélite)
- ⑤ Implementar um **protótipo de sistema** que utilize o modelo de fusão para gerar:
  - Mapas
  - Relatórios de irrigação
  - Dashboards de recomendação e alerta sobre a irrigação
- ⑥ Analisar a eficácia potencial do sistema na **redução do desperdício de água** e no **aumento da eficiência produtiva**

# Solução proposta



# Visão geral da abordagem

- Dois caminhos complementares de obtenção de dados:
  - **Caminho A** — uso de *datasets* existentes
  - **Caminho B** — coleta em campo com rede própria baseada em LoRaWAN
- Etapas principais:
  - 1 Gate de decisão (**Caminho A vs. B**)
  - 2 **Delineamento experimental**
  - 3 **Aquisição de dados** (IoT + SR)
  - 4 **Fusão espaço-temporal**
  - 5 **Modelagem e geração de produtos**
  - 6 **Validação e análise de desempenho**

# Materiais: dados (Caminho A)

- **Caminho A — Dataset existente**
  - **Séries históricas** e/ou **datasets** acadêmicos com **variáveis de solo/umidade** e apoio meteorológico [1][2][3]  
(Bônus: uso de dados meteorológicos de estações locais próximas)
  - Sensoriamento remoto: **Sentinel-2 (MSI)**, **Landsat-8/9 (OLI/TIRS)** e **Sentinel-1 (SAR)**  
(Bônus: uso de dados vetoriais para auxílio no limite de talhão, rede de drenagem, solos e corpos d'água)
- **Critérios de escolha:**
  - **Cobertura temporal e espacial**
  - **Qualidade das variáveis disponíveis**

## Materiais: coleta em campo (Caminho B)

- **Caminho B — Rede própria em 1–2 talhões**
  - Medições de **umidade do solo**
  - **Temperatura e umidade relativa do ar**
  - **Registros de validação manual** (checklist de campo; amostras pontuais)
- **Hardware e comunicação:**
  - Microcontrolador **ESP32 com suporte a LoRa**
  - *Gateway* LoRaWAN (TTN/ChirpStack) ou Raspberry Pi com módulo LoRa
  - **Sensores capacitivos/tensiométricos de umidade, sensores de T/UR do ar**

# Materiais: *software* e organização dos dados

- **Software e serviços:**

- *Ambiente Python* (venv/conda)
- **Bibliotecas:** GDAL/**rasterio**, SNAP/Sen2Cor, **Google Earth Engine**
- **Telemetria:** The Things Stack/TTN, **MQTT/HTTP**, *scripts* de ingestão
- Ciência de dados e visualização: numpy, pandas, scikit-learn, QGIS, Dash/Streamlit

- **Organização e gestão de dados:**

- Estrutura de pastas: raw/, interim/, processed/, models/, reports/
- **Metadados** (CSV/Parquet): sensor, lat, lon, data/hora local, DOY, QA *flags*, CRS
- Controle de **versionamento**: **Git/GitHub**  
(Bônus: o uso do *Data Version Control* (DVC) para grandes volumes de dados)

# Gate de decisão e delineamento experimental

- **Gate de decisão (Mês 1–2):**
  - ① **Verificar** disponibilidade e suficiência de ***datasets*** existentes
  - ② **Se suficientes: adotar Caminho A** para **acelerar modelagem**
  - ③ **Caso contrário: utilizar Caminho B** com **coleta em campo via LoRaWAN**
- **Delineamento experimental:**
  - Definir cultura, talhões e variáveis de interesse
  - Planejar janelas de aquisição (solo, clima, SR)



# Aquisição de dados e sensoriamento remoto

- **Aquisição (IoT + meteorologia):**
  - **Leituras de sensores** em alta frequência
  - **Agregação em janelas de 15–60 minutos** para modelagem
- **Sensoriamento remoto (comum aos caminhos A e B):**
  - **Critérios:** **nuvem** < **X%**, **coleções L2A** (Sentinel-2) / **C2** (Landsat 8/9)
  - **Óptico:** **correção atmosférica** (Sen2Cor), **máscara de nuvem/sombra**, **recorte ao talhão**
  - **SAR:** **calibração radiométrica**, **correção de terreno**, **co-registro S1↔S2**
  - **Derivação de índices:** **NDWI/MNDWI** (água), **NDVI/NDMI** (vigor/umidade), **LST/ET** quando aplicável [4]

# Fusão espaço-temporal, modelagem e produtos

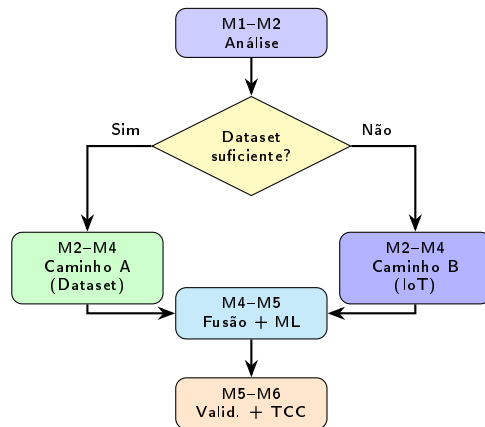
- **Fusão espaço-temporal:**
  - **Alinhamento temporal/espacial**
  - **Uso de *Harmonized Landsat Sentinel-2 (HLS)*** e composições para **reduzir lacunas de nuvem**
  - **Níveis de fusão:**
    - ***Sensor-level*:** reamostragem/**registro** ↔ pontos/**talhões**
    - ***Feature-level*:** *feature set* com índices **SR + agregados IoT + clima**
- **Modelagem e produtos:**
  - **Baselines:** **regressão** (umidade/ET) e **classificação** (água/estresse)
  - **Produtos:** **GeoTIFF/COG**, camadas temáticas, **mapas de recomendação de irrigação**, **dashboards** e **relatórios de alerta**

# Validação

- **Esquema espaço-temporal:** treino/validação/teste por talhão/tempo
- **Métricas:** *Root Mean Square Error* (RMSE)/*Mean Absolute Error* (MAE) (variáveis contínuas), *F1-Score/Intersection over Union* (IoU) (segmentação água/estresse)
- **Ganho operacional:** economia potencial de água

# Cronograma de atividades

Mês	Atividade
M1–M2	<b>Gate de decisão</b> (A vs. B) Instalação/calibração (se B)
M2–M4	<b>Coleta IoT contínua (se B)</b> Aquisição + pré-proc. SR
M4–M5	<b>Fusão de dados</b> <b>Modelagem <i>baseline</i></b>
M5–M6	<b>Validação e ajustes</b> <b>Geração de produtos</b> <b>Escrita Final do TCC</b>



# Situação atual do projeto

- Capítulos de **Introdução, Fundamentação Teórica e Desenvolvimento** já estruturados
- Etapas concluídas/adiantadas:
  - **Revisão bibliográfica** (IoT, SR, fusão de dados, ML)
  - **Definição de objetivos e arquitetura em camadas**
  - **Planejamento dos caminhos A e B**
  - **Estruturação do ambiente** de dados e da organização de pastas
- Principais aprendizados:
  - **Desafios de integração** de fontes **heterogêneas**
  - **Gestão e versionamento** de grandes volumes de dados
  - **Modelagem de aprendizado de máquina** com **dados espaço-temporais**

# Resultados esperados e métricas

- Resultados esperados:
  - **Dataset integrado** IoT + satélite em nível de talhão
  - **Mapas de recomendação de irrigação** por período/safra
  - **Protótipo de interface visual** com mapas, séries temporais e alertas
- Métricas de avaliação:
  - **RMSE/MAE** para variáveis contínuas (umidade, ET, etc.)
  - **F1/IoU** para classes de água/estresse, quando aplicável
  - **Indicadores de *gain* operacional** (economia potencial de água)

# Contribuições do trabalho

- Organização de **boas práticas de projeto de dados** para fusão IoT–satélite
- Proposição de **arquitetura em camadas** para manejo hídrico sustentável:
  - **Aquisição, transmissão, armazenamento e tratamento** de dados
- Documentação de **metodologia de fusão IoT–sensoriamento remoto**
- Base estruturada para desenvolvimentos futuros em:
  - **Irrigação inteligente**
  - **Agricultura de precisão sustentável**

# Limitações e desafios





- Dependência da **qualidade e disponibilidade dos dados**:
  - Cobertura de nuvens em imagens orbitais
  - **Falhas de sensores** ou de **comunicação**
- Questões de **escalabilidade**:
  - **Generalização para diferentes culturas e regiões**
- Complexidade de operação:
  - Necessidade de **conhecimentos em geoprocessamento, programação e ciência e análise de dados**



# Trabalhos futuros

- Implantar e avaliar a rede IoT em área piloto (**Caminho B**)
- Explorar diferentes modelos de *machine learning* e comparar desempenho
- Incorporar **novas fontes de dados**:
  - **Sensores adicionais** (tensiômetros, estações meteorológicas completas)
  - **Séries temporais mais longas** de satélite e dados climáticos
- Evoluir a interface para um **dashboard operacional** utilizável por técnicos e produtores
- Realizar **validação operacional** em parceria com produtores e instituições

# Referências

-  Bhadra, M. (2024). Agriculture and Farming Dataset. Kaggle. [www.kaggle.com/datasets/bhadramohit/agriculture-and-farming-dataset](https://www.kaggle.com/datasets/bhadramohit/agriculture-and-farming-dataset)
-  Kaggle Community. (2023). Agricultural Datasets Discussion. Kaggle Discussions. [www.kaggle.com/discussions/general/446746](https://www.kaggle.com/discussions/general/446746)
-  DatasetEngineer. (2024). Smart Farming Data 2024 (SF24). Kaggle. [www.kaggle.com/datasets/datasetengineer/smart-farming-data-2024-sf24](https://www.kaggle.com/datasets/datasetengineer/smart-farming-data-2024-sf24)
-  The IDB-Project. (2011). A database for remote sensing indices. [www.indexdatabase.de/db/i.php](http://www.indexdatabase.de/db/i.php)

# Agradecimentos e contato

Obrigado pela atenção!

**Fernando Daniel Marcelino**

`fernando.marcelino@unifesp.br`



Repositório do projeto:  
`github.com/fernando-daniel98/TCC-UNIFESP`