



Monitoramento da Erosão do Solo através de um Sistema IoT que Integra o Método da Parcela de Erosão e uma Estação Meteorológica

B. Percebes G. Reis A. Angulo

Technical Report - IC-23-08 - Relatório Técnico
May - 2023 - Maio

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

The contents of this report are the sole responsibility of the authors.
O conteúdo deste relatório é de única responsabilidade dos autores.

Monitoramento da Erosão do Solo através de um Sistema IoT que Integra o Método da Parcela de Erosão e uma Estação Meteorológica

Beatriz Percebes*

Giovani Reis†

Antonio Angulo‡

Resumo

A chegada da internet móvel 5G e a automação cada vez mais presente em casas e setores da indústria faz com que tenhamos gradualmente mais contato com câmeras, sensores, assistentes virtuais, entre outros dispositivos. Todos esses dispositivos agora se conectam entre si através de uma grande central chamada Internet das Coisas (IoT, do inglês Internet of Things), que pode ser definida como uma rede de dispositivos físicos e virtuais conectados com a capacidade de comunicação e transferência de dados estáticos ou dinâmicos através de protocolos pré-estabelecidos. Outro setor que também se beneficia de IoT é o setor de pesquisa e monitoramento geográfico, pois com o crescimento massivo dos grandes conjuntos de dados dinâmicos, a aplicação de novos métodos para integração de tecnologias vem se tornando mais necessária para lidar com esses processos de forma eficiente. Alinhado com essa ideia, este trabalho apresenta uma solução baseada em IoT para o monitoramento de variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, quantidade de chuva) e a quantidade de solo erodido.

1 Introdução

Um dos problemas que atualmente acontece na agricultura é a degradação de solos, que afeta sua estrutura, dizima a fertilidade e enfraquece a qualidade da água recebida. Cerca de 95% da produção mundial de alimentos depende do solo. No entanto, práticas agrícolas insustentáveis, superexploração de recursos naturais e crescimento populacional estão interferindo cada vez mais nas condições de nossos solos [1]. Segundo informações da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), metade dos solos agricultáveis do mundo está degradada. Especialistas estimam que a erosão do solo pode levar a uma perda de 10% na produção agrícola até 2050 e remover 75 bilhões de toneladas de solo, ou seja a complexa rede interconectada de solo, terra e água— estão em “ponto de ruptura”. [1].

Alguns dos fatores que ocasionam a degradação do solo são a chuva, o vento, a gravidade, entre outros. Esses fatores podem gerar erosão, salinização e/ou desertificação. No caso da erosão, ela se classifica como um processo que elimina as camadas superiores do solo jogando fora a parte mais rica da terra. Nessa situação, é importante saber quanto do solo foi erodido para depois fazer um manejo ou tratamento adequado.

Tendo isso em vista, o presente projeto pretende fazer um monitoramento de variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento) e a quantidade de terra erodida através de um sistema IoT.

*Instituto de Computação, UNICAMP, Campinas, SP. f204182@dac.unicamp.br

†Instituto de Computação, UNICAMP, Campinas, SP. g259156@g.unicamp.br

‡Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, Campinas, SP. a218681@dac.unicamp.br.

Apoio CEPAGRI e IC

O trabalho está organizado da seguinte forma, na seção 2 será apresentado projetos relacionados a área de monitoramento de erosão, na seção 3 e 4 serão apresentados os objetivos do nosso projeto juntamente com a proposta para esse monitoramento de erosão, a seção 5 irá esclarecer a metodologia utilizada neste projeto, e por fim a seção 6 iremos explicar os resultados obtidos, juntamente com a conclusão e os agradecimentos finais.

2 Trabalhos Relacionados

Tendo em vista que o monitoramento e a análise do processo de erosão do solo são de extrema importância para a agricultura, impactando diretamente em nossa qualidade de vida, já que se relaciona com plantações de alimentos e outros setores de suma importância para a sociedade, há diversas propostas de inovações tecnológicas para melhorar os procedimentos por trás das técnicas utilizadas nesse meio.

[2] Trabalho feito com ravinas, um tipo de erosão caracterizada pela abertura de grandes cavidades no solo devido ao excesso de água da chuva. Apontando para a dificuldade de monitorar a perda de solo com técnicas mais comuns, como Modelos Digitais de Elevação (DEMs, do inglês *Digital Elevation Models*), os autores propõem a utilização da técnica LiDAR (*Light Detection and Ranging*) como alternativa para esse processo. São utilizados dois lasers scanners terrestres para monitorar uma única ravina antes e após um período de chuva. Analisando as variáveis complexidade de terreno e estimativa de volume, o estudo traz importantes apontamentos sobre como essas características se relacionam a erosão.

[3] O artigo propõe uma arquitetura de monitoramento de erosão baseada em IOT. A arquitetura proposta de monitoramento da erosão do solo é baseada em Smart sticks implantados. Os smart sticks formam uma rede de sensores sem fio (WSN - Wireless Sensor Network) que são implantados em um declive para realizar tarefas específicas, como detecção, processamento de dados e reconhecimento. Os resultados experimentais mostram que a transmissão do sinal sem fio do sistema é estável e a taxa de vazamento de pacotes é baixa. Também provam que o sistema pode detectar instantaneamente a quantidade de mudança de erosão do solo, e também verificou que o sensor ToF (sigla em inglês para Time of Flight, ou “tempo de voo”, é um sensor que consegue determinar a distância entre objetos a partir da emissão de luz.) do smart stick é bastante preciso e possui linearidade razoavelmente alta.

A utilização de tecnologias como LiDAR e scanners terrestres para o mapeamento de erosões em áreas rurais pode ser extremamente vantajosa, porém, em muitos casos, esses equipamentos são inacessíveis aos agricultores familiares. Dessa forma, nosso projeto se destaca por oferecer uma solução com equipamentos de fácil acesso e de baixo custo, permitindo que agricultores possam realizar o mapeamento de suas áreas de forma eficiente. Levando isso em consideração, nosso projeto visa fornecer informações precisas sobre a erosão nas áreas rurais, permitindo aos agricultores tomar decisões estratégicas sobre o realocamento das plantações e a preservação da terra. Com a utilização de equipamentos simples e baratos, o projeto permite que agricultores familiares tenham acesso a informações importantes para a manutenção e melhoria de suas áreas de cultivo. Ao disponibilizar uma solução acessível e eficiente para o mapeamento de erosões em áreas rurais, nosso projeto busca atender às necessidades específicas dos agricultores familiares, oferecendo informações essenciais para o desenvolvimento sustentável de suas atividades agrícolas.

3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma solução baseada em IoT para monitorar as variáveis meteorológicas dentro de um local em específico, juntamente com a quantidade de solo transportado por conta da erosão. Para conseguir atingir o objetivo principal e guiar na construção da solução proposta de forma eficiente temos alguns objetivos específicos. São eles:

- Construir um protótipo capaz de armazenar em tempo real a quantidade do solo erodido mediante a técnica de parcela de erosão;
- Transmitir os dados coletados da parcela de erosão e integrá-lo com os dados meteorológicos da página do OpenWeather numa só plataforma IoT que permita visualizar e analisá-los;
- Correlacionar as variáveis meteorológicas com as medidas de erosão obtidas na parcela de erosão para analisar sua relação e fazer projeções.

4 Proposta

Este trabalho propõe um sistema de monitoramento de variáveis meteorológicas e erosão do solo que será composto por uma placa responsável pela coleta dos dados meteorológicos e quantidade de solo erodido, plataforma online e uma aplicação móvel, onde os dados serão exibidos em tempo real. A Figura 1 ilustra esse funcionamento do sistema, nela é possível observar que as três partes principais que o compõem: o sistema de monitoramento, a plataforma ThingSpeak, e as interfaces de visualização e análise dos dados, compostas pelo Google Colab, um dispositivo desktop e uma aplicação Android.

Para isto, foi idealizada uma arquitetura composta por três camadas, como mostra a Figura 2: Camada Física, Camada *Web* e Camada Móvel. Onde cada camada conta com suas características e funcionalidades específicas. A partir da integração entre elas será possível construir o sistema proposto, cujo funcionamento pode ser visualizado na Figura 1. De acordo com essa divisão, podemos especificar as camadas da seguinte forma:

Camada Física: Corresponde a placa em si, onde estarão os sensores e módulos responsáveis por coletar os dados do OpenWeather (temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e velocidade do vento) e a porção de erosão do solo, dada pela distância medida pelo sensor ultrassônico. Essa camada se comunica diretamente com a Camada Web a partir do envio dos dados via *wi-fi* para a plataforma de serviço em nuvem ThingSpeak [4] utilizando o protocolo de comunicação HTTP.

Camada Web: Se comunica com as outras camadas, recebendo dados da Camada Física e enviando para a Camada Móvel. Ela é composta pela plataforma ThingSpeak, onde os dados serão visualizados e armazenados, podendo também serem analisados diretamente a partir dela, e pelo Google Colab, onde será feita uma análise dos dados com algum algoritmo de Aprendizado de Máquina.

Camada Móvel: Essa camada é composta pela aplicação Android, onde serão exibidas as informações meteorológicas e sobre o solo em tempo real.

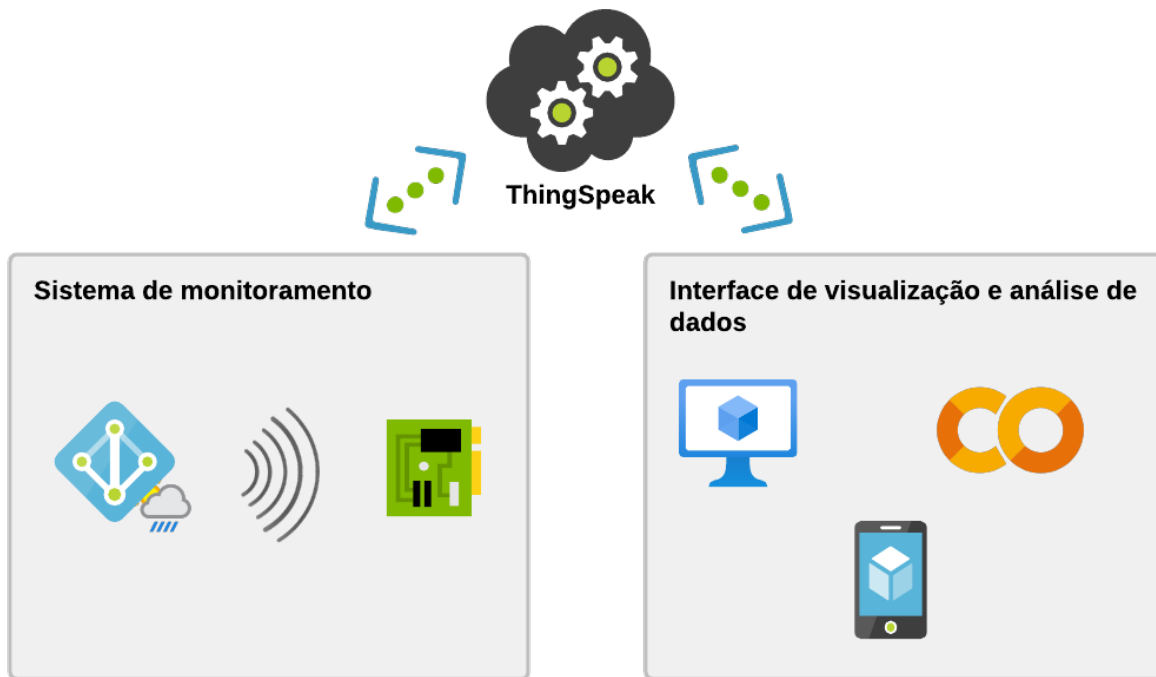


Figura 1: Interface do sistema.

5 Metodologia

5.1 Experimento

5.1.1 Local de Estudo

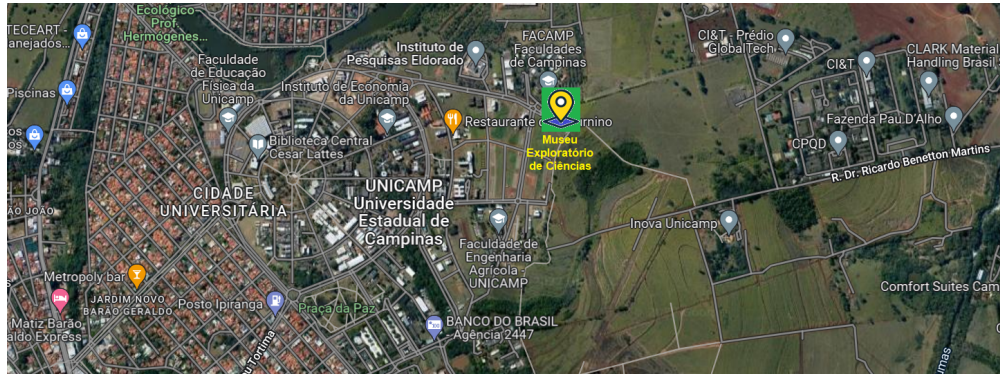
O local de estudo foi no Museu Exploratório de Ciências (MEC), localizado na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), em Campinas, São Paulo. A localização aproximada no mapa pode ser observada na Figura 3. Os experimentos foram conduzidos em novembro de 2022 e a precipitação sazonal neste mês foi aproximadamente de 180 mm. De acordo ao plano geológico da cidade de Campinas, o MEC possui um solo com composição de diabásios cinza escuros a pretos, finos ou muito finos, e maciços (parte em verde no plano geológico apresentado na figura b da Figura 3). O gradiente de inclinação das parcelas foi de 5 graus aproximadamente.

5.1.2 Configuração Experimental e Condições Experimentais

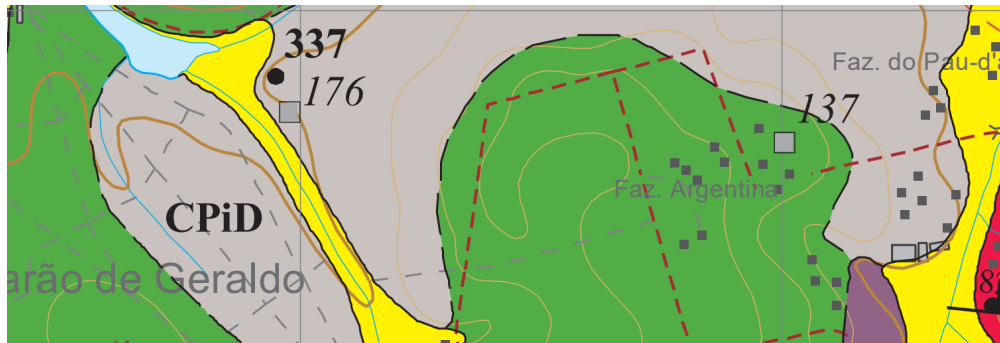
O experimento foi conduzido numa superfície de solo com cobertura de grama natural, com tamanho de parcela de 2m de largura e 5m de comprimento, como mostra a Figura 4. As parcelas foram delimitadas com um separador de jardim que tem espessura de 2mm e uma altura de 10.5cm para limitar a entrada de escoamento de fora da parcela. A superfície do solo das parcelas tem grama de até 5 cm de altura. Ao final da área cercada foi feito um buraco com dimensões de 34cm x 50cm x 30cm para colocar uma caixa plástica de 51 Litros onde vai se coletar a terra erodida durante as chuvas. A distância entre a parcela de erosão e a estação meteorológica de CEPAGRI (Figura 5) é cerca de 65m (Figura 6). A aquisição dos dados foi feita com um sensor ultrassônico, que ficou sempre ligado enviando dados desde sua instalação.



Figura 2: Arquitetura proposta para o projeto de monitoramento de erosão de solo.



(a)



(b)

Figura 3: Mapa (a) de satélite, e (b) geológico da localização do Museu Exploratório de Ciências.



Figura 4: Parcela de erosão com dimensões 2m x 5m.



Figura 5: Estação meteorológica.

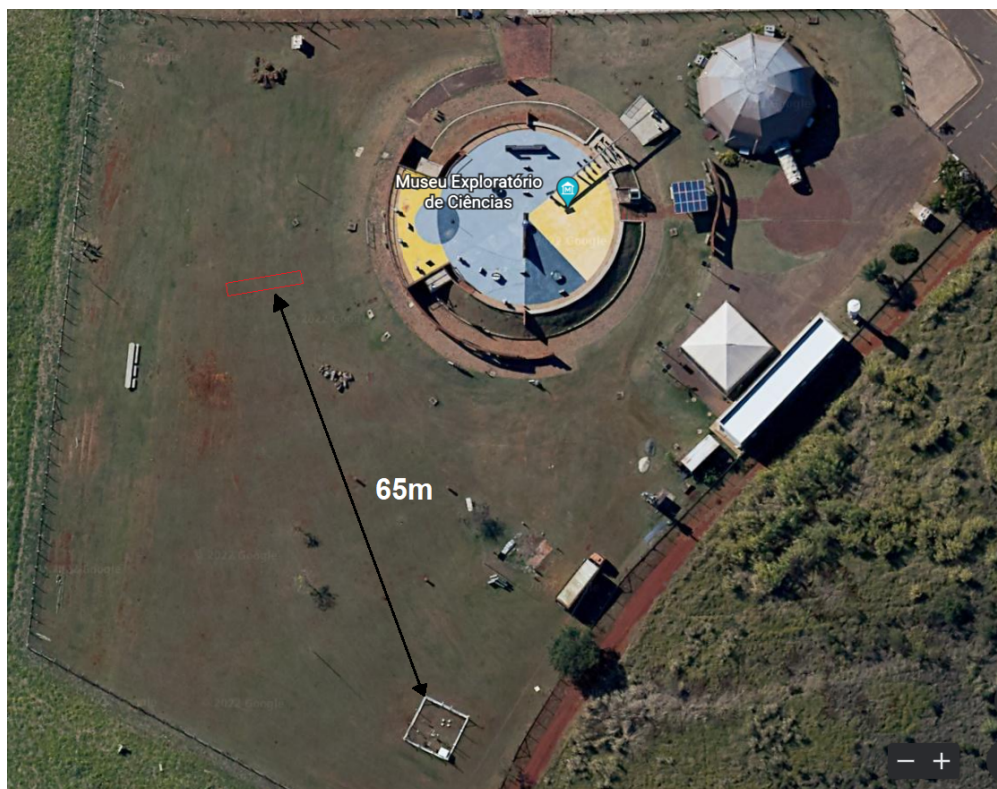


Figura 6: Localização da parcela e distancia a estação meteorológica.

5.2 Arquitetura e Desenho de Hardware

O desenho 3D da placa PCB pode ser observado na Figura 7, composta pelo NodeMCU-32S ESP32 e o sensor ultrassônico da série HC-SR04. Os dados são adquiridos por uma leitura do sensor realizada cada 10 segundos e se envia um dado promédio a cada 1 minuto. A alimentação do sistema foi feita pela porta micro USB do mesmo ESP32 com um carregador de 5V que se conecta à tomada de corrente alternada de 220V.

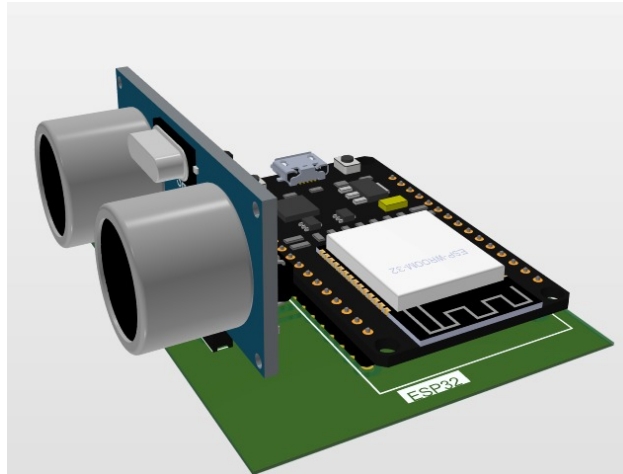


Figura 7: Placa 3D do sistema de aquisição de dados.

5.3 Aplicação e Desenho de Software

O sistema foi projetado a partir da plataforma Arduino IDE [5] e foram utilizadas as seguintes bibliotecas:

ArduinoJson: Disponibiliza diversas funções para trabalhar com JSON, dentre elas serialização e deserialização de mensagens JSON.

ThingSpeak: Fornece algumas funções já implementadas para estabelecer conexão com a plataforma, como leitura e escrita de dados nos campos do canal da plataforma utilizado para armazenamento.

WiFi: Conta com diversas funções relacionadas a comunicação com a internet, como estabelecimento de conexão, obtenção de *status* e endereço MAC, modo de operação do chip WiFi e outros.

A Figura 8 exibe o fluxograma de funcionamento geral do sistema, onde é possível observar as principais ações realizadas pelo algoritmo. Após ser iniciado, é feita a leitura dos dados meteorológicos da plataforma OpenWeather e do sensor ultrassônico, onde pequeno tratamento é feito após a leitura deste sensor, visto que são obtidos dados brutos a partir dessa leitura, sem fornecer diretamente a distância.

Esse tratamento é feito com a implementação da equação abaixo:

$$D = \frac{(P \cdot V)}{2} \quad (1)$$

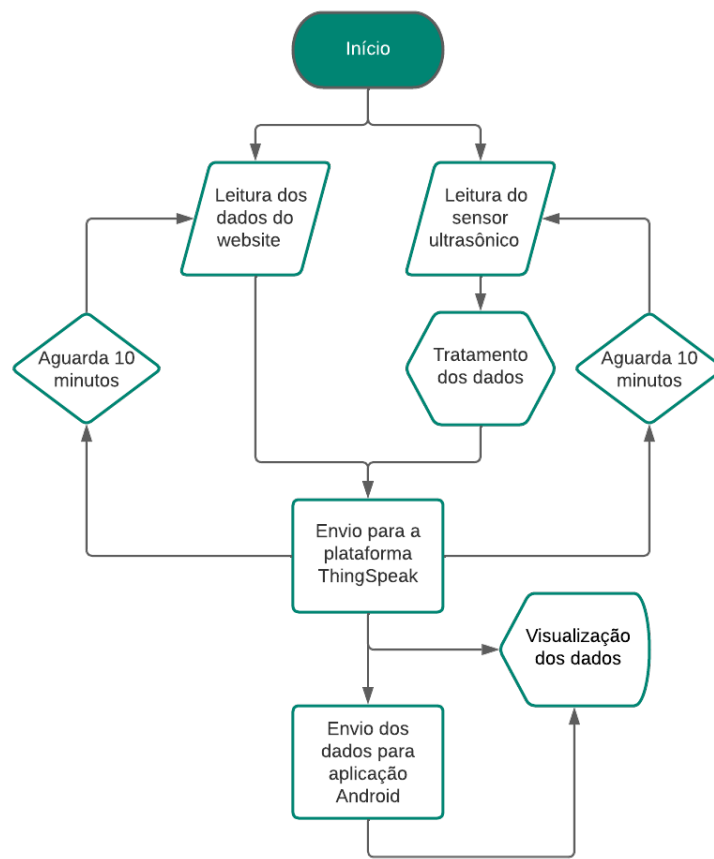


Figura 8: Fluxograma de funcionamento geral do sistema.

Onde D é a distância entre o sensor e o objeto, P é o período de tempo que onda emitida pelo sensor leva para ir de encontro ao objeto, nesse caso, a terra, e voltar ao sensor e V é a velocidade do som, visto que é emitido uma onda sonora. Com isso será possível identificar se houve alguma alteração de espaço no solo, já que haverá uma alteração no valor de distância medido.

Após esse tratamento, todos os dados são enviados para o canal na plataforma ThingSpeak e são aguardados 10 minutos para repetir o processo de leitura, tratamento e envio de dados. O canal do ThingSpeak conta com 5 campos, cada um designado para cada variável separadamente. A Figura 9 exibe a parte de configuração do canal, onde é estabelecido o número de campos que serão utilizados e seus respectivos nomes.

Channel Settings

Percentage complete 30%

Channel ID [REDACTED]

Name

Description

Field 1

Field 2

Field 3

Field 4

Field 5

Field 6

Figura 9: Campos criados para o canal na plataforma ThingSpeak.

Com os dados já na plataforma, eles podem ser visualizados a partir de gráficos, onde são exibidos ao longo do tempo. Além disso, esses dados também são enviados para a aplicação Android, onde são exibidos em tempo real.

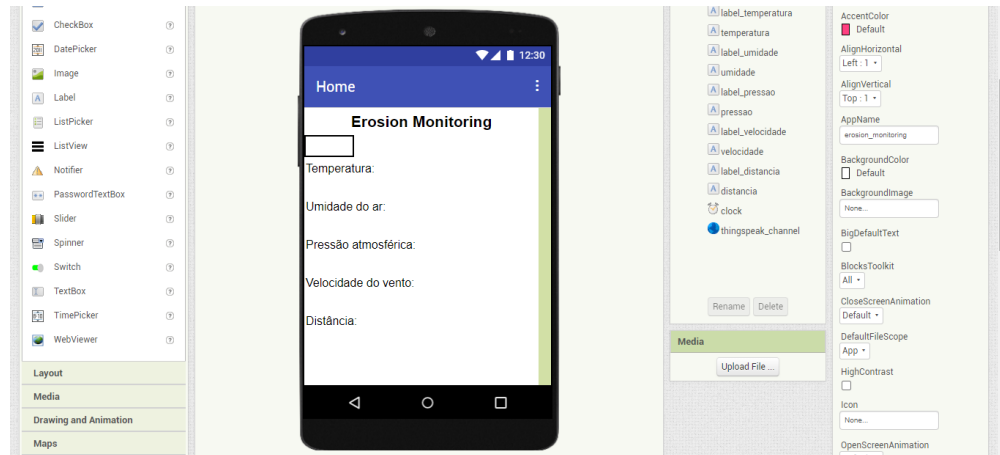
5.4 Aplicação Android

Para construir a aplicação Android foi utilizada a plataforma MIT App Inventor, onde a programação é feita a partir da montagem de blocos que representam estruturas de códigos. A plataforma conta com diversas funções, permitindo criar desde aplicações com funções básicas a aplicações mais elaboradas com diversos tipos de conexão, como WiFi e Bluetooth.

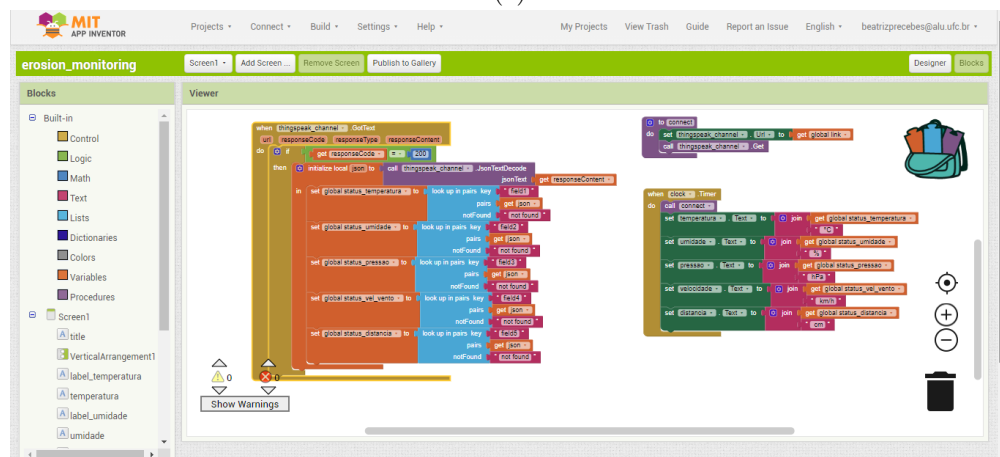
A Figura 10a exibe a parte da plataforma onde são desenvolvidas as telas do aplicativo, onde é possível adicionar diversos elementos, como botões, *labels*, imagens, sensores e elementos de conectividade; já a Figura 10b traz a parte onde são elaborados os códigos a partir dos blocos.

6 Resultados

Obtivemos resultados que apontam direções interessantes para estudo e aplicação: plataforma ThingSpeak com garantia de armazenamento, criando uma pequena base de dados, e visualização dessas informações em tempo real, aplicação Android que também permite acompanhamento dos



(a)



(b)

Figura 10: Plataforma AppInventor. (a) Parte de construção de telas do aplicativo. (b) Parte de blocos de programação.

dados em tempo real e uma análise inicial com um algoritmo de Aprendizado de Máquina acerca das informações coletadas. Além disso, também foi criado um ambiente para o experimento, onde a placa ficou armazenada.

6.1 Plataforma ThingSpeak

A Figura 11 exibe o canal criado, que pode ser acessado a partir deste link. Essa página é a versão pública do canal e, portanto, possui uma certa limitação de ações; nela são exibidos os últimos valores enviados para a plataforma e é possível acompanhar sua atualização e baixar um arquivo com os dados recentes nos formatos XML, JSON e CSV.

A versão privada do canal, disponível para os criados, oferece mais funções. Dentre elas estão as chaves para realizar escrita e leitura do canal, download de todos os dados coletados pela plataforma, análise com Matlab e algumas configurações de visualização dos campos, como valores máximos exibidos, intervalos de tempo e outros. Neste trabalho foi optado para usar a plataforma para o armazenamento e visualização dos dados e comunicação com a placa e a aplicação Android.

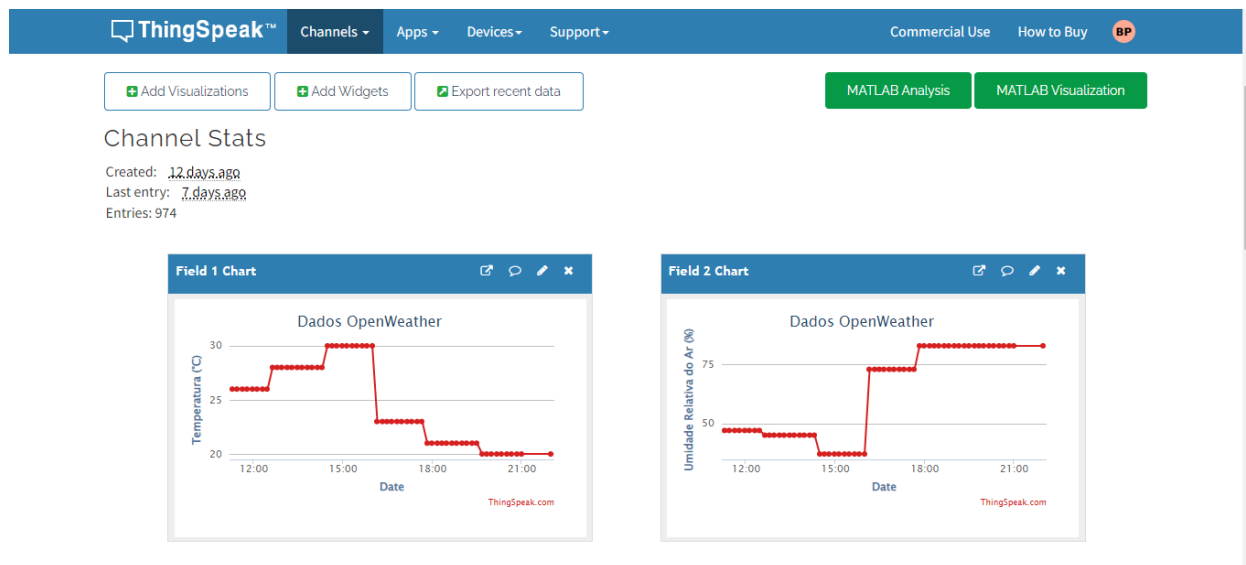


Figura 11: Aplicativo desenvolvido.

6.2 Aplicação Android

A aplicação desenvolvida foi simples, com o intuito de demonstrar a funcionalidade básica de monitoramento das variáveis meteorológicas em questão. Na Figura 12 é possível visualizar a aplicação, que conta com apenas uma página, onde são exibidos os valores de cada variável.



Figura 12: Aplicativo desenvolvido.

6.3 Processamento dos dados

Nesta seção vamos a apresentar os resultados do procesamento feito no Google Colab usando o linguagem Python versão 3. O objetivo nesta parte é encontrar uma equação que permita prever a erosão na parcela implementada neste projeto tendo em conta as variáveis ambientais como entradas e o volume erodido, medido na caixa plástica a través do sensor de ultrasom, como saída

(ver Figura 13). Os dados são do dia 22 de novembro e aí se olha que nesse mesmo dia se teve 3 momentos de chuva.

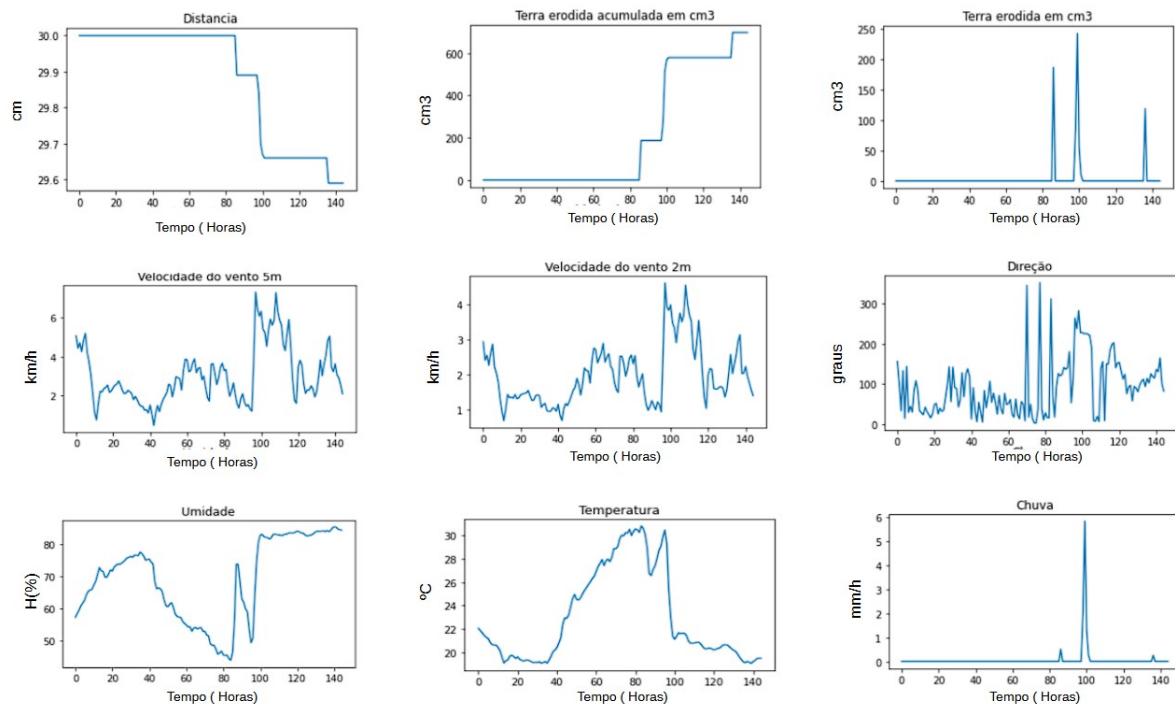


Figura 13: Dados usados como entrada e saída.

Nós usamos o Metodo de Regreção Lineal Multiple (MRLM) para encontrara equação que foi a seguinte:

$$Erosão = 44.33 * Ch + 1.35 * T + 0.27 * UR - 0.01 * DV - 10.55 * V2 + 5.88 * V5 - 43.87 \quad (2)$$

Onde:

Chuva = Ch

Temperatura = T

Umidade Relativa = UR

Dirção de vento a 2 m do solo = DV

Velocidade do vento a 2m do solo = V2

Velocidade do vento a 5m do solo = V5

Com nesta equação podemos calcular num período de tempo de 10 minutos quanto de terra foi erodida. Podemos observar que as variáveis que tem maior importância são a chuva e a velocidade do vento a 2m do solo.

7 Conclusões

Hoje produzimos cada vez mais dados digitais acerca das mais diversas aplicações, fazendo com que seja necessário buscar formas mais eficientes de lidar com esses dados, tanto no que diz respeito a

armazenamento quando a análise. Enxergando o grande potencial da Internet das Coisas e sua capacidade de ser uma ferramenta útil para intervir em nosso meio social, trazendo soluções inteligentes e que busquem resolver importantes problemas atuais, propomos um sistema de monitoramento de erosão do solo.

Tendo isso em vista, foi desenvolvida uma placa que coleta dados de algumas variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento e deslocamento de terra) e os envia para o ThingSpeak, uma plataforma de IoT. A partir dessa plataforma tem-se a visualização e armazenamento desses dados, que também são enviados para uma aplicação Android, onde podem ser visualizados em tempo real. Além disso, também aplicamos o MRLM para encontrar uma equação que ajude a prever a quantidade de terra erodida de acordo as variáveis ambientais.

Como trabalhos futuros enxergamos a utilização de outros sensores mais aptos para esse tipo de monitoramento, como o sensor conhecido por Time-of-Fly (ToF sensor), que usa tecnologia laser; uma análise mais profunda dos dados, criando condições de alerta para tornar o processo de monitoramento mais completo e procurando melhorar a solução com Aprendizado de Máquina, com modelos mais eficientes e com uma base de dados mais elaborada; e, além disso, experimentos em campo por mais tempo, a fim de poder observar melhor com as variáveis se comportam em períodos mais longos.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ter sido realizado sem o suporte do Museu Exploratório de Ciências, que não apenas permitiu a instalação da parcela de erosão dentro do museu, como também contribuiu o fornecimento de suas ferramentas e orientação no processo de instalação. Também contamos com o importante suporte da CEPAGRI quanto ao fornecimento dos dados da estação e com recomendações sobre a aquisição dos dados e a forma de obter a terra erodida; e com a grande orientação e dicas da equipe da Konker sobre coleta de dados a partir da API OpenWeather. E, por fim, a importante colaboração da Profa. Dra. Juliana Freitag Borin por fornecer o equipamento eletrônico necessário para construir o protótipo e por acompanhar o projeto com importante orientação. Nosso sincero agradecimento.

Código e Dados

Os códigos e arquivos do projeto estão disponíveis no GitHub e podem ser acessados a partir deste link.

Referências

- [1] FAO no Brasil - Solos saudáveis para as pessoas e para o planeta: FAO pede reversão da degradação do solo. **Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture**, 2022. Disponível em: <<https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/fr/c/1472352/>>. Acesso em 09 de nov. de 2022.
- [2] Q. Wang, J. Liu, L. Wu, Z. Xu, S. Fan and A. Qian, *Analysis of gully erosion hazard using high resolution terrestrial LiDAR*, 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016, pp. 7469-7472, doi: 10.1109/IGARSS.2016.7730948.

- [3] T. -H. Lin, J. -X. Peng, C. -Y. Wen, Y. -T. Wang and J. -T. Huang, *Development of Smart Stick for Soil Erosion Monitoring*, IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2019, pp. 9618-9621, doi: 10.1109/IGARSS.2019.8899279.
- [4] J. B. Terken, “Visualizing and Analyzing Sensor Data with ThingSpeak,” em Proceedings of the Workshop on Wireless Technologies for Developing Countries, 2014, pp. 1-4.
- [5] Arduino. (s.d.). *Arduino - Introduction*. Acesso em 10 de novembro de 2022, de <https://www.arduino.cc/en/Guide>