











Sistema de monitoramento de saturação de água do solo para prevenção de movimentos gravitacionais de massa.

Soil water saturation monitoring system to prevent gravitational mass movements.

- 1 Francisco Jácome Gurgel Júnior  
- 2 João Carlos Jânio Gigolotti  
- 3 Filipe da Silva Bastos Teixeira Silva  
- 4 Angelo Samuel da Silva  
- 5 Luis Claudio da Silveira Teixeira  

1 Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA

2 Associação Educacional Dom Bosco

3 Associação Educacional Dom Bosco

4 Associação Educacional Dom Bosco

5 Associação Educacional Dom Bosco

RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade o desenvolvimento de um sistema que realize aquisição de dados do solo, de forma a identificar previamente a possibilidade de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa por estações de monitoramento de acidentes geotécnicos e ambientais. O sistema pretende antever a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa relacionados a saturação de água no solo e subsolo para a mitigação de danos humanos e materiais, bem como para o monitoramento ambiental de áreas de risco geológico. Para isso foi desenvolvido um protótipo, baseado em controle por Arduino para adquirir informações de nível de umidade do solo e inclinação do mesmo. Com o protótipo desenvolvido, o próximo passo foi realizar ensaios em laboratório para comprovar a eficácia do sistema concebido. O protótipo montado mostrou-se adequado ao fim para o qual foi proposto e, se adaptado as peculiaridades locais, pode servir perfeitamente para monitorar áreas de risco sujeitas a movimentos gravitacionais de massa saturadas e prever a ocorrências dos mesmos com a utilização dos sensores de umidade que integram o dispositivo.

PALAVRAS-CHAVE:

Movimento de massa. Saturação. Monitoramento de Solo. Microcontrolador. Arduino.

ABSTRACT

The purpose of this work is to develop a system that performs soil data acquisition, in order to previously identify the possibility of the occurrence of gravitational mass movements by monitoring stations for geotechnical and environmental accidents. The system aims to anticipate the occurrence of gravitational mass movements related to water saturation in the soil and subsoil to mitigate human and material damage, as well as for environmental monitoring of geological risk areas. For this, a prototype was developed, based on Arduino control to acquire information on soil moisture level and slope. With the prototype developed, the next step was to carry out tests in the laboratory to prove the effectiveness of the designed system. The assembled prototype proved to be suitable for the purpose for which it was proposed and, if adapted to local peculiarities, it can serve perfectly to monitor risk areas subject to saturated gravitational mass movements and predict their occurrence with the use of humidity sensors. that are part of the device.

KEYWORDS:

Mass movement. Saturation. Soil Monitoring. Microcontroller. Arduino.

1 INTRODUÇÃO

No contexto atual do Brasil, deslizamentos são problemas que ocorrem com alta frequência. Segundo Marangon (2018), existem diversos fatores que levam ao escorregamento de taludes – entre eles, pode-se mencionar a saturação elevada do solo. De acordo com o Centro Nacional de Pesquisa de Solos (1997) entende-se como um solo saturado aquele que contém um alto índice de umidade em relação ao volume de vazios. Esse alto nível de umidade leva a erosão interna dos taludes, levando à instabilidade. Os escorregamentos, em geral, levam a grandes danos, tanto ambientais, quanto materiais quando ocorrem em uma zona urbana e de grande densidade demográfica.

As atividades humanas possuem papel importante nos processos de encosta, devido às mudanças de uso da terra e ao desmatamento, tanto em áreas rurais como em urbanas, sendo alteradas com as alterações climáticas (Guerra & Loureiro, 2023).

Coelho Netto (2005) afirma que o entendimento da geração e produção do escoamento superficial é importante para a orientação de obras de engenharia como construção de pontes ou represas e também vital para o manejo e conservação dos solos, na medida em que os fluxos d'água superficiais podem erodir o topo dos solos e remover os nutrientes básicos para o crescimento dos vegetais.

Macedo & Sandre (2022) frisam em suas pesquisas que de 1988 à junho de 2022, 4.146 pessoas morreram em decorrência de deslizamentos de terra no Brasil. Guerra (2011) apregoa que o processo erosivo causado pela água das chuvas, tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, cujos totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta. Pelo fato da região do Rio de Janeiro receber chuvas bem fortes, o trabalho será focado nesse tipo de escorregamento.

O desenvolvimento deste projeto possibilita sua aplicação em diversas áreas do conhecimento e conceitos da área de Engenharia Elétrica e Eletrônica que serão necessários à elaboração do protótipo. Também é um projeto multidisciplinar, pois questões geológicas são relacionadas à área de Engenharia Civil. Sendo assim, este projeto se prova abrangente, com diversos conhecimentos aplicados para seu desenvolvimento, em variados campos de estudo.

Em vista da gravidade deste problema, e levando em conta que alguns desses danos poderiam ser evitados através da avaliação da saturação do solo, propõe-se a formulação de um sistema digital microcontrolado, que consiga fazer a medição da saturação do solo, e enviar esses dados através da rede para um computador. Já existem sistemas e maneiras de fazer essa medição de saturação do solo, entretanto em geral são de alto custo, e requerem um operador para realizar as medições.

O objetivo maior desta pesquisa é o desenvolvimento de um sistema microcontrolado para a detecção de uma possível saturação do solo, buscando, dessa forma, evitar um eventual desastre natural causado por um movimento gravitacional de massa. Essa prévia detecção sendo feita através de sensores que coletam dados do solo, como sua umidade e inclinação, possibilitarão antever o estado do solo e alertar aqueles expostos ao risco geotécnico.

Inicialmente, planeja-se utilizar sensores de umidade acoplados a uma haste, que assim poderiam fazer a medição da umidade média de certo local. Para que os dados coletados pelos sensores sejam trabalhados, será utilizado um microcontrolador, que receberá tais informações, e com um algoritmo desenvolvido especificamente para esta atividade, irá trabalhar esses dados e adquirir uma informação importante relacionada à saturação do solo. As informações serão enviadas através de uma rede sem fio para um computador que estará afastado do microcontrolador. Desta maneira, este projeto pretende desenvolver esse sistema

microcontrolado para a medição de saturação do solo, e através de rede sem fio, comunicar esses dados ao computador, onde esses dados poderão ser avaliados, e assim ajudar a prever e prevenir possíveis desastres.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Highland & Bobrowsky (2008) advogam que deslizamentos de encostas ocorrem por todo o planeta, sob variadas condições climáticas e tipos de terreno, custam bilhões em perdas materiais, e são responsáveis por milhares de mortes a cada ano. Frequentemente causam problemas econômicos de longo prazo, desalojam a população e afetam negativamente o meio ambiente.

Contudo, além das causas naturais, a ocupação desordenada de áreas íngremes ou instáveis, devido à pressão populacional nos centros urbanos, políticas ultrapassadas, deficientes ou até mesmo inexistentes de uso e ocupação do solo, complexidades culturais e financeiras e as peculiaridades próprias de cada comunidade, na maioria das vezes, estão associadas a um mal uso da terra que fica vulnerável a deslizamentos conforme frisa Maciel Filho (2011) e Highland & Bobrowsky (2008).

Geralmente, a estabilização dessas áreas tem custo muito alto. Entretanto, precauções e ações de engenharia mais simples e baratas podem ser adotadas para garantir a segurança da população em situação de risco pelo deslizamento de encostas.

Deslizamentos de encostas ocorrem por todo o planeta, sob variadas condições climáticas e tipos de terreno, custam bilhões em perdas materiais, e são responsáveis por milhares de mortes a cada ano. Frequentemente causam problemas econômicos de longo prazo, desalojam a população e afetam negativamente o meio ambiente segundo Highland & Bobrowsky (2008).

Os taludes ou encostas naturais são superfícies inclinadas de maciços de terra, maciços rochosos ou mistos, originados de processos geológicos segundo as pesquisas de Highland & Bobrowsky (2008). Talude artificial se refere ao declive de aterros ou cortes construídos a partir de materiais de diferentes granulometrias e origens, inclusive rejeitos, como em terraplanagem de estradas e maciços de barragens (Oliveira & Brito, 1998).

Highland & Bobrowsky (2008) tecem que deslizamento é “um termo genérico, usado para descrever o movimento de descida do solo, de rochas e de material orgânico, sob o efeito da gravidade, e também a formação geológica resultante de tal movimento”.

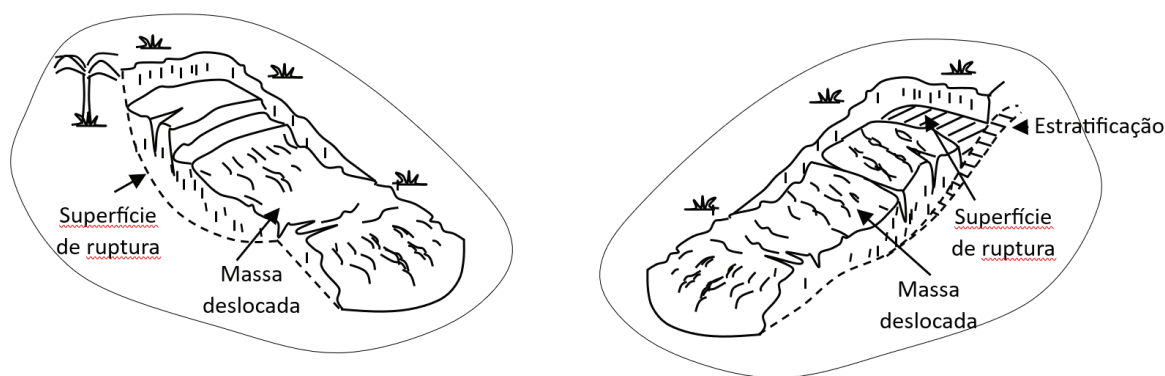
Várias podem ser as causas para os deslizamentos, naturais ou antrópicas. Dentre as causas naturais destacam-se formações geomorfológicas constituídas de materiais frágeis, cisalhados, descontínuos e intemperizados, e ainda, erosão fluvial, erosão nas bases e margens do talude, erosão subterrânea, deposição de carga e perda de vegetação. As causas decorrentes da ação humana incluem escavações, especialmente as que são feitas na base dos taludes, desmatamentos, carregamentos sobre a crista do talude, o que inclui a ocupação urbana imprópria do terreno, infiltração de água de vazamentos de tubulações e reservatórios, irrigação, descaracterização dos mecanismos naturais de drenagem, vibração de máquinas segundo Highland & Bobrowsky (2008) e Oliveira & Brito (1998).

As classificações de diferentes tipos de deslizamentos são associadas a mecanismos específicos de falhas em taludes ou às propriedades e características dos tipos de falhas geológicas, com base na categoria de movimento, ou seja, como a massa é deslocada, e no tipo de material envolvido (Highland & Bobrowsky, 2008). Deslizamentos também podem formar uma ruptura complexa, que pode incluir mais de um tipo de movimento, como o deslizamento de rochas e o fluxo de detritos (Highland & Bobrowsky (2008). Assim, os tipos de deslizamentos incluem: queda rochosa, tombamento, escorregamento, espalhamento lateral, escoamento,

fluxo de detritos, avalanche de detritos, fluxo de terra e fluxo lento de terra (rastejo) Highland & Bobrowsky (2008) e Oliveira & Brito (1998).

Destaca-se como mecanismo de deslizamento o escorregamento, que pode ocorrer pela elevada inclinação do talude, pela presença de descontinuidades nas camadas de solo, por percolação de água, em aterros e em massas coluviais. Em geral, ocorre a ruptura de uma superfície interna, a qual, morfologicamente, pode ser uma ruptura curva, escorregamento rotacional, ou plana, escorregamento translacional conforme se observa na Figura 1, onde, sob certas circunstâncias, pode ocorrer que a maior parte do material se mova como uma massa coerente ou semicoerente, com pequena deformação interna conforme Highland & Bobrowsky (2008).

Figura 1 – Esquema de dois tipos de escorregamento: rotacional (à esquerda) e translacional (à direita).



Fonte: Adaptado de Highland & Bobrowsky (2008).

As três causas de desencadeamento de deslizamentos são a ação da água, as atividades sísmicas e vulcânicas. As formações geológicas no Brasil são antigas e estáveis e excluem a última, restando em pequeno grau a atividade sísmica e prevalecendo a ação da água.

3 METODOLOGIA

Para a execução deste projeto, foi necessário conhecer as variáveis necessárias a serem monitoradas para o controle de deslizamentos, por isso, foram usadas como base as referências e citações bibliográficas expostas nesta pesquisa. É importante ressaltar que dos casos de deslocamento de massa abordados, o projeto limita-se em avaliar tal fenômeno pelo efeito de percolação do solo. Começando pelo controlador, peça fundamental para receber, processar e enviar os dados adquiridos pelos sensores. Era desejado algum tipo de controlador de valor acessível, robusto e que fosse de fácil inserção no sistema. A escolha do Arduino como controlador do projeto deve-se ao fato de que o mesmo é bem robusto, tem um baixo custo de aquisição e é de fácil implementação, sem a necessidade de circuitos periféricos para auxiliar no processamento de dados.

Para concepção deste projeto, foram utilizados dois Arduinos UNO; um para aquisição, processamento e transmissão dos dados e outro para receber os dados enviados pelo primeiro. A programação para estes controladores foi realizada através da IDE Arduino.

Para o primeiro Arduino, foram inseridas as três bibliotecas necessárias para executar algumas aplicações, são elas: a biblioteca LoRa, para utilizar as funções de programação do módulo LoRa; a biblioteca SPI (Serial Peripheral Interface), utilizada para fazer a comunicação rápida do Arduino, através deste protocolo, com outros dispositivos em curtas distâncias; e por último a biblioteca Wire, para adquirir os dados do giroscópio.

Além das bibliotecas, nesta primeira parte também foram criadas as variáveis necessárias para receber, processar e transmitir os dados. Essas variáveis criadas são do tipo inteiro, por isso antes dos nomes das variáveis vem um prefixo "int". Pela característica do solo ter sua taxa de variação lenta, ou seja, as grandezas medidas variam lentamente, e por serem necessárias grandes variações para que o fenômeno aconteça é que foi optado por representar os dados no formato de inteiros.

Uma das grandezas necessárias para avaliação de probabilidade de massa, já citado, é a umidade do solo. Para aquisição desse dado, foi escolhido um sensor higrômetro, que consiste em dois eletrodos, confeccionados de tal forma que tenham uma distância pré-estabelecida, onde um recebe energia elétrica, e por condução do solo quando este encontra-se úmido, é transmitida essa energia ao outro eletrodo. Os sensores de umidade possuem uma ligação bem simples, conectando-se os terminais dos eletrodos aos terminais de aquisição de dados da placa moduladora. Importante ressaltar que esta ligação não possui polaridade. Os terminais de alimentação da placa moduladora devem se conectar aos terminais de 5V e GND do Arduino. Juntamente com a alimentação, ligar o terminal AO da moduladora a qualquer porta analógica do Arduino. Foram utilizados dois sensores ligados nas entradas A0 e A1 do Arduino.

Junto a esses eletrodos, há também uma pequena placa eletrônica, que mede a diferença de potencial entre os dois eletrodos, além de fazer a amplificação do sinal e ajustar para um padrão de 0 a 5 volts, possibilitando assim que o Arduino faça a interpretação correta desse sinal, convertendo para um padrão de 0 a 1023 valores digitais. Quanto mais úmido estiver o solo, mais próximo de zero será a diferença de potencial, e assim, mais próximo de zero do valor digital.

Para medição da inclinação do solo, foi utilizado um sensor baseado no princípio físico do giroscópio. Foi realizada uma pesquisa online e com profissionais do ramo, e foi selecionado o sensor MPU 6050, um giroscópio com processamento digital, capaz de fornecer velocidade de inclinação e a própria inclinação. O sensor possui alta precisão, devido ao fato de trazer consigo um conversor AD de 16 bits. Outra informação importante é que este sensor realiza a transferência de dados com o Arduino usando o protocolo de comunicação I2C. Os valores medidos por esse sensor estarão numa faixa de -32768 e +32767, de valor escalar. Esses valores representam de 0° a 360°.

Com o intuito de transmitir a informação do campo para uma estação de tratamento de dados, foi elaborado o projeto de implementação da comunicação entre os dois Arduinos usando um módulo LoRa para transmissão de dados. O módulo utilizado foi o XL1278, da SemTech.

Um estudo realizado pelo engenheiro e entusiasta de eletrônica Cleber, (FunBots, 2021) no YouTube, usando essa placa e sua antena convencional, conseguiu alcançar uma distância de cerca de 1,36km, dentro da cidade, com uma Geometria de terreno desfavorável e sob condições adversas como chuva. Para um caso de implementação real do protótipo desenvolvido nesta pesquisa, seria ideal adquirir um sistema de comunicação LoRa com maior alcance, visto que para a proposta deste trabalho, a adquirida é suficiente.

3.1 Montagem do protótipo

A Figuras 2 e 3 são fotos retiradas do protótipo após a montagem do circuito e conexão dos sensores. Trata-se de uma caixa receptáculo para armazenar o Arduino, o módulo LoRa, o giroscópio e as placas moduladoras para os sensores de umidade, além de possuir um tubo de PVC conectado a caixa, onde foram fixados os sensores de umidade.

Na Figura 1 abaixo é possível notar o correto posicionamento dos sensores, com suas posições geometricamente definidas para maior confiabilidade dos dados, uma vez que, de certa forma, está sendo

monitoradas duas camadas do solo. Na Figura 2 é mostrada a forma final do protótipo com vista frontal e lateral, podendo ser possível perceber o uso do acrílico para melhor examinar o funcionamento dos componentes eletrônicos e o perfil do protótipo, para que se tenha a noção da profundidade da caixa utilizada.

Figura 2: Imagem retirada do tubo de sustentação do protótipo.



Fonte: foto dos autores, 2023.

Figura 3: Foto do protótipo onde se visualiza a parte frontal e lateral.



Fonte: Foto dos autores, 2023.

Para testar o funcionamento do protótipo, foi criado um ambiente de simulação no laboratório de mecânica dos solos da Faculdade de Engenharia de Resende. Em síntese, o grupo desenvolveu dentro de um recipiente impermeável, um talude artificial com características o mais próximas possível de um ambiente real.

A imagem da Figura 4 abaixo retrata parcialmente o desenvolvimento do ambiente de simulação supracitado, durante o processo de confecção do talude, com um solo compactado utilizando ferramentas e técnicas de análise de solos.

Depositando material componente do solo, a cada 6 centímetros de altura de material depositado o processo era interrompido para realizar a compactação do solo. Esse processo se repetiu até que obteve um talude que encobrisse os dois sensores de umidade.

Figura 4: Foto do início da montagem da simulação do ensaio.



Fonte: Foto dos autores, 2023.

Após realizado esse processo de montagem de um talude artificial e fixado o protótipo no talude, o passo seguinte foi realizar um processo de percolação do solo de maneira forçada, saturando o solo com água a fim de que ele viesse a sofrer um movimento de massa. Paralelo a essa atividade, foram acompanhados pelo notebook os valores medidos pelos sensores, para avaliar se eles estavam funcionando corretamente, se os sensores de umidade registravam alteração e saturação do solo, e se o giroscópio de fato informava a variação na inclinação dos eixos X, Y e Z.

Foi também realizado um processo de filtragem dos dados, visto que o volumes gerados nos experimentos era demasiado. É importante informar que o experimento foi realizado três vezes, onde no primeiro experimento os resultados não foram satisfatórios. Após realizar esse primeiro ensaio percebeu-se que o posicionamento do protótipo não era o correto, pois por estar mais distante do fim do talude, não registrou o instante correto que se iniciou o deslocamento de massa. Constatado isso, foram

realizados uma série de ajustes no protótipo, além de reavaliar a forma como foi realizado o processo de criação de talude, pois o solo de amostra havia sofrido demasiada compactação e não escoou como previsto apenas com saturação.

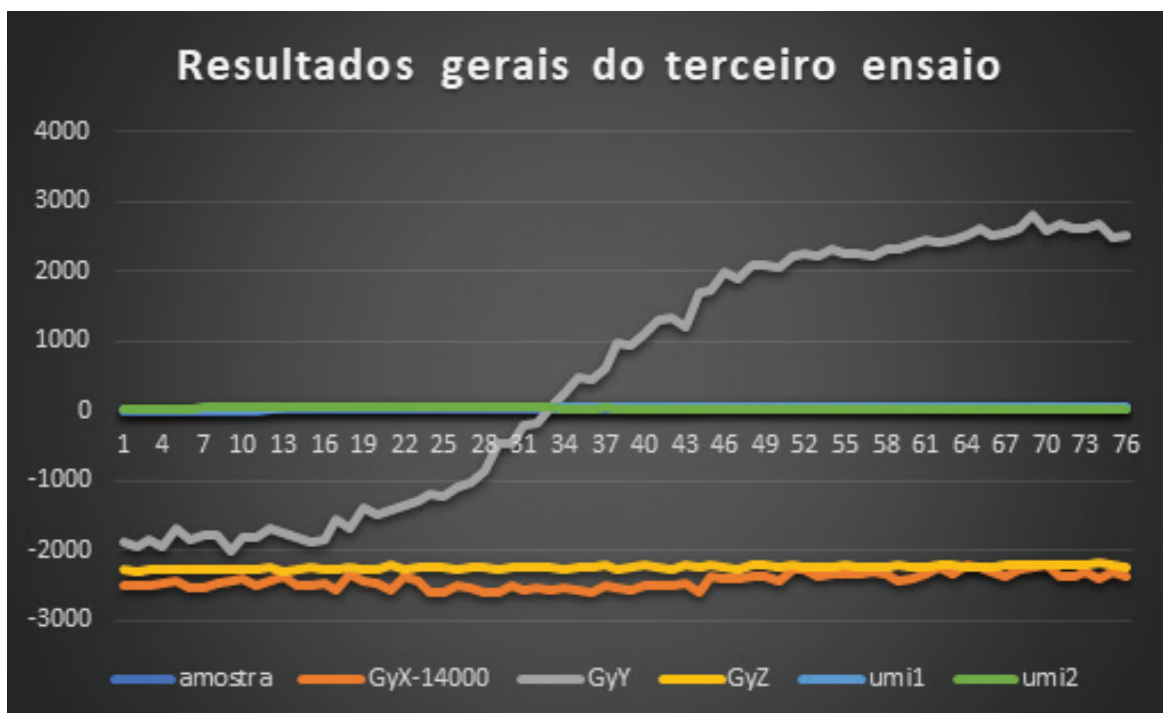
Após ajustar e padronizar os experimentos, o segundo experimento mostrou-se mais coerente com os valores esperados. O solo, após ser saturado de forma artificial, apresentou o movimento de massa esperado, gerando variação de inclinação no eixo Y.

O resultado do terceiro ensaio (ver Figura 5) foi tão satisfatório quanto o segundo, o que possibilitou chegar a valores semelhantes, com algumas ressalvas e observações. Como o experimento foi feito de forma manual, ou seja, um dos integrantes do grupo estava saturando o solo, aplicando água com um vasilhame, houve diferença no volume de água aplicado nos ensaios, e com isso a velocidade com que o talude se rompeu foi diferente.

Outra observação a ser levada em conta é que, como do segundo para o terceiro ensaio foi utilizado o recipiente e solo já umedecido, os valores de umidade neste terceiro ensaio foram maiores, quando comparado a umidade do solo do segundo ensaio.

Feitas as observações sobre as características do solo desse terceiro ensaio, após ser executado, seus resultados foram mais trabalhados, retirados de sua forma bruta para trazer maior clareza durante a análise dos dados.

Figura 5: Gráfico dos resultados encontrados no terceiro ensaio.



Fonte: dados dos ensaios dos autores, 2023.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir desta pesquisa levantou-se a hipótese de que apenas monitorando a umidade do solo e a inclinação deste, seria possível conceber um sistema capaz de detectar os indícios de que os acidentes ambientais citados acima estariam próximos a acontecer, logo, isso seria um sistema de monitoramento de movimentos de massa.

Carvalho (2023) corrobora em seu trabalho que o Arduino tem sido uma solução para numerosas necessidades de gestão no Brasil e que apresenta variadas vantagens, como custo reduzido, flexibilidade e capacidade de integração com outros equipamentos.

Tendo desenvolvido um protótipo e criado um meio de testá-lo de forma controlada, foram realizados três ensaios para comprovar que o sistema estava funcionando bem, e que além de ser eficaz, foi possível utilizar materiais de baixo custo, a fim de se obter um sistema acessível e possível de ser implantado em larga escala.

Os resultados obtidos foram de encontro com as expectativas fixadas como parâmetros, onde comprovou-se que quando o sensor de umidade mais próximo a região de percolação, entra em estado de saturação, nota-se que nesse momento tem-se o início do movimento de massa, identificado a partir da variação da inclinação do eixo Y.

Como foi desenvolvido um protótipo para uma região de teste com pouco solo, o número de sensores de umidade fora suficiente; para uma situação real o número de sensores deve ser bem maior, assim como o comprimento do tubo de sustentação também deve ser maior, para que seja possível alcançar uma camada bem mais profunda do solo.

Assim também, é importante lembrar que esse tipo de sistema é eficaz e retrata bem como está acontecendo o movimento de massa, porém numa área limitada. Para tornar esse sensor aplicável, é necessário criar vários medidores com base nesse sistema, a fim de que seja possível cobrir uma área extensa, criando-se assim uma rede de sensores.

Mariano (2023) conclui que apesar de simples, a plataforma Arduino e seus sensores podem ser uma excelente estratégia na coleta e monitoramento de dados ambientais, pois além de terem um baixo custo quando comparadas com instrumentos vendidos comercialmente podem ser customizadas de acordo com as necessidades do pesquisador.

5 CONCLUSÕES

É importante durante a leitura deste trabalho, ter em mente que a proposta era de desenvolver um sistema capaz de medir as grandezas tidas como importantes para monitorar o fenômeno de movimentação de massa do solo, e com base nos resultados, pode-se concluir que este objetivo foi alcançado.

Em um país de clima tropical como o Brasil, sujeito a eventos pluviométricos de grande volume no verão os sistemas de prevenção e monitoramento de umidade no solo são instrumentos de grande valia para os órgãos públicos como a Defesa Civil e Corpo de Bombeiros poderem antever o risco geológico e tomar todas as providências cabíveis para salvar vidas e evitar tragédias.

Este dispositivo pode ensejar no futuro a criação de um modelo matemático que descreva a dinâmica dos movimentos de massa e com os dados obtidos pelo sistema, gerar uma função de probabilidade que estime a possibilidade desse solo saturado provocar uma nova ocorrência desastrosa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Msc Tiago Duarte Amorim, do curso de Engenharia Elétrica e Eletrônica da Faculdade de Engenharia de Resende/Associação Educacional Dom Bosco, orientador do TCC "Detecção de Saturação do Solo Através de Dispositivo Microcontrolado" e incentivador da elaboração deste artigo.

REFERÊNCIAS

ARDUINO®. ARDUINO.CC. Site que se ocupa em disseminar e entregar conhecimentos acerca de tecnologias aplicáveis ao Arduino, como banco de dados de bibliotecas; informações sobre funções etc. Disponível em: < <https://docs.arduino.cc/learn/>>. Acessado em 23 de junho de 2023.

CANAL FUNBOTS. Teste de alcance de um LoRa | Módulo LoRa com Arduino muito simples!. YouTube, 2021. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=mafyHPyFKoE>>. Acessado em: 15 de agosto de 2023.

CARVALHO, de A. A. O papel do Arduino e sensores de baixo custo na agropecuária digital: avanços e perspectivas. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Especialização em Recursos Hídricos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro. 2023.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – Site Oficial. São José dos Campos: CEMADEN / MCTI. Disponível em: <www2.cemaden.gov.br/projeto-monitoramento-de-encostas-para-prevencao-de-deslizamentos/>. Acesso em: 13 de março de 2024.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia da encosta na interface com a Geomorfologia. In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. CUNHA, S. B. da & GUERRA, A. J. T. (orgs.) 6ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2005. 472p.

CRISPIM, F.A, et al. Compactação de solos em laboratório: efeito do diâmetro e do número de camadas do corpo de prova. Scielo Brasil, 2015. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rarv/a/XY5Gd5BWPzsFPWXmpDGqdbm/?lang=pt#>>. Acessado em: 02 de outubro de 2023.

CRISPIM, F.A. Influência de variáveis de compactação na estrutura dos solos: caracterizações geotécnica, química, mineralógica e microestrutural. 2010. 125f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1997) Manual de métodos de análise de solo. [Manual de Métodos de Análise de Solos.] 2ª Edição, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 212 p. Acessado em 10 de julho de 2023.

FORMOSO, M. T. Desenvolvimento de um Inclinômetro para monitorar o comportamento de Taludes Instáveis de Solos. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/119377/000295172.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acessado em 15 de setembro de 2023.

GUERRA, A. J. T. Encostas Urbanas. In. Geomorfologia Urbana. GUERRA, A. J. T. (org.) Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2011. p 13-42.

GUERRA, A. J. T. & LOUREIRO, H. A. S. Erosão em áreas tropicais. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2023. 270p.

GUIMARÃES, Fábio. Acelerômetro MPU6050 com Arduino. Mundo Projetado, 2018. Disponível em: < <https://mundoprojetado.com.br/acelerometro-mpu6050-arduino/>>. Acessado em: 15 de setembro de 2023.

HIGHLAND, L.M.; BOBROWSKY, P. The landslide handbook – A guide to understanding landslides (tradução de Rogério, P.R. e Aumond, J.J.). Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2008, Circular1325, 129p.

Disponível em: https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos_M5DS_0.pdf. Acesso em: 27 de fevereiro de 2024.

MACEDO, E. S. de & SANDRE, L. H. Mortes por deslizamentos no Brasil: 1998 a 2022. Instituto de Pesquisas Tecnológica de São Paulo. 2022. Disponível em: <https://ipt.br/2023/03/29/mortes-por-deslizamentos-no-brasil-1988-a-2022/>. Acesso em 19 de fevereiro de 2023.

MACIEL FILHO, C.L. Introdução à Geologia de Engenharia (4ª Ed.). Santa Maria: UFSM, 2011, p 369-388.

MARIANO, F. E. Comparação de dados coletados com termo-higrômetro comercial e com sensor DHT-11 associado a uma placa Arduino e seu potencial de uso em pesquisa e ensino

de ciências. Research, Society and Development, v. 11, n. 4, e30611427329, 2022 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | 2023.

MARONGON, M. Tensão nos Solos. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/406131429/MARANGON-2018-Capitulo-02-Tensoes-Nos-Solos-2018>>. Acessado em 10 de julho de 2023.

MARONGON, M. Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. Unidade 04 Estabilidade de taludes. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/332453287/Apostila-Estabilidade-de-Taludes-Marangon>>. Acessado em 15 de agosto de 2023.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998, p 243-269.

SHARLENE. WT901 Atitude Angle Sensor SPECIFICATIONS. V4.0. Publicado em: 10 de agosto de 2018, 50 pag.

THOMSEN, Adilson. Monitore sua planta usando Arduino. Maker Hero, 2016. Disponível em: < <https://www.makerhero.com/blog/monitore-sua-planta-usando-arduino/>>. Acessado em 20 de abril de 2023.

ZAHID, Yousef. Seleção de pinos para I2C em um Arduino Uno. DelftStack, 2021. Disponível em: < <https://www.delftstack.com/pt/howto/arduino/i2c-pin-selection-for-arduino-uno/>>. Acessado em: