

Received:
September 13, 2021

Accepted:
October 03, 2021

Published:
October 29, 2021

Alert prototype for landslide for risk areas using the Arduino platform

Gustavo Henrique B. de Oliveira ¹ , Celso Amaral Cordeiro ¹ , Ayolle Milena Silva Ávila ¹ , Isabela Guimarães Cyriaco ¹ , Daniel Moraes Santos ¹ 

¹ Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys, Teófilo Otoni, Brazil.

Email address

oliveira.gustavo@ufvjm.edu.br (Gustavo H.B. Oliveira)

celso.amaral@ufvjm.edu.br (Celso A. Cordeiro)

ayolle.avila@ufvjm.edu.br (Ayolle M.S. Ávila)

isabela.guimaraes@ufvjm.edu.br (Isabela G. Cyriaco)

daniel.moraes@ufvjm.edu.br (Daniel M. Santos)

Abstract

The landslides are almost always associated with natural disasters, with loss of human lives, great financial loss to government and the need to relocate families to new homes. In Brazil, the situation causes great concern to civil society and government authorities, landslides occur very frequently in the initial months of the year. This type of disaster is mostly influenced by several factors, the main ones being the poor distribution of the urban network, the lack of infrastructure, the waterproofing and deforestation of the soil and finally the tropical climate and the high rainfall during summer. Thus, this work has the objective of developing an alert sensor for landslides for risk areas using an Arduino platform, through the analysis of soil moisture on the slopes.

Keywords: Natural Disasters, Arduino, Landslide, Risk Area.

1. Introdução

Conforme Marcelino (2008), é possível definir e conceituar os desastres naturais, de forma simplificada, como o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excede a capacidade dos afetados em conviver com o impacto.

Dessa forma, pode-se perceber que no século XXI os deslizamentos em áreas de risco têm aumentado consideravelmente, principalmente em centros urbanos de países subdesenvolvidos e países que estão em desenvolvimento, no qual existe uma urbanização intensa, e devido ao alto custo de vida nos centros, a população de baixa renda se alocou em regiões localizadas em morros e encostas íngremes, dessa forma, os movimentos gravitacionais de massa são agravados, podendo atingir famílias, que se encontram em áreas de risco

com possibilidade de causar não só perdas materiais como também perdas humanas.

Além disso, em grande parte das cidades, os assentamentos urbanos apresentam nenhum critério técnico ou projeto ambiental. Esse tipo de irregularidade tanto da população quanto dos órgãos públicos provoca transgressões de leis ambientais e que frequentemente estão relacionados a acidentes nas épocas de chuvas torrenciais, resultando em grandes tragédias.

De acordo com a Agência de Notícias “No Sudeste, 23,2% de sua área tem suscetibilidade muito alta a deslizamento e 24,6% alta suscetibilidade.” De tal forma que todos esses riscos ocasionam em prejuízos caso o evento ocorra, através da Figura (1) observa-se que a região de Minas Gerais com divisa com o estado do Espírito Santo apresenta os maiores índices de áreas de suscetibilidade a deslizamentos.

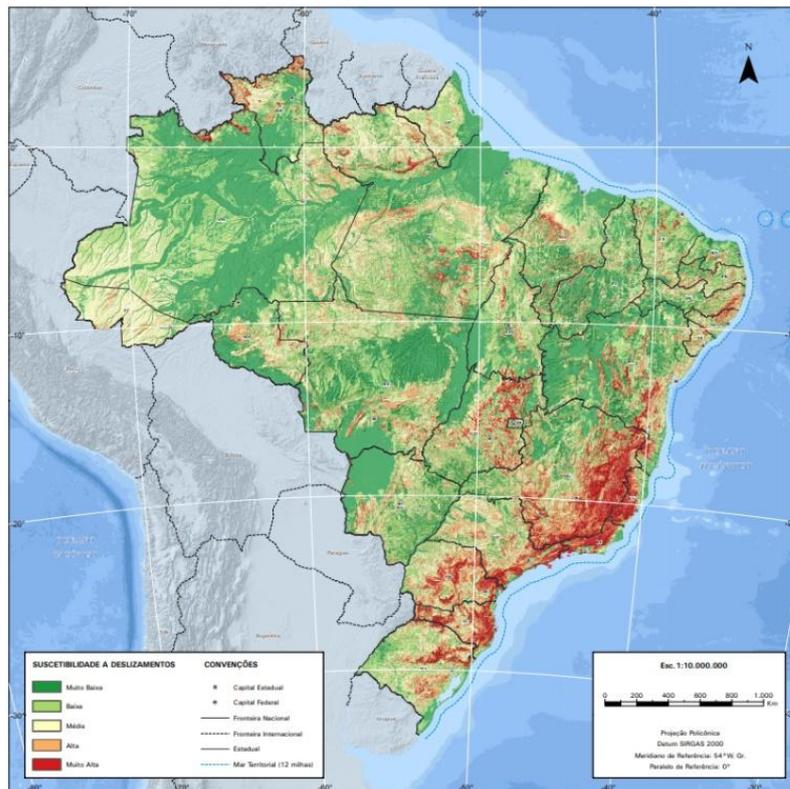


Figura 01 – Mapa de áreas com suscetibilidade a deslizamentos (IBGE, 2019).

No estudo dos casos de deslizamento de terra na cidade de Teófilo Otoni, cidade a qual a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha campus do Mucuri está localizada, pode-se perceber que a cidade apresenta diversas regiões com riscos de deslizamento. Muito disso é devido ao fato da malha urbana de Teófilo Otoni ter se desenvolvido de maneira desordenada sobre o relevo, dessa forma, áreas inapropriadas com elevadas declividades foram urbanizadas, essas áreas têm um potencial para a ocorrência de desastres naturais. (Ferraz, Valadão e Henriques, 2016).

Além disso, Teófilo Otoni reúne muitos dos fatores para ocorrência de deslizamentos, relevo, clima, precipitação, a cobertura vegetal original de floresta (IBGE, 1987) foi quase que totalmente suprimida da paisagem e urbanização em encostas. Dessa forma, o somatório de todos esses aspectos resulta em diversas áreas da cidade apresentam riscos de deslizamentos. (Ferraz, Valadão e Henriques, 2016).

Segundo um estudo realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) em 2012, a cidade de Teófilo Otoni apresentava 9 bairros com risco de deslizamento, como é possível analisar na Tabela (1).

Lima e Ferraz (2016) realizaram uma pesquisa que se estendeu por bairros da cidade de

Teófilo Otoni, e segundo eles foram observadas evidências de desastres naturais decorrentes à falta de planejamento ambiental. As áreas de risco também podem ser observadas na Figura (2), um mapa síntese das áreas de risco da cidade de Teófilo Otoni em que pode ser identificadas as principais áreas da cidade afetadas pelos desastres naturais.

Tabela 1 – Bairros em risco áreas de risco.

BAIRRO	RISCO DE
ALTINO BARBOSA	Deslizamento Planar
BELVEDERE	Deslizamento Planar
CORREDOR GAZZINELLI	Deslizamento Planar
FREI DIMAS	Deslizamento Planar
VILA PEDROSA	Deslizamento Planar
BELA VISTA	Deslizamento Planar
SÃO CRISTÓVÃO	Deslizamento Planar
VIRIATO	Deslizamento Planar
MANOEL PIMENTA - EUCALIPTOS	Deslizamento Planar

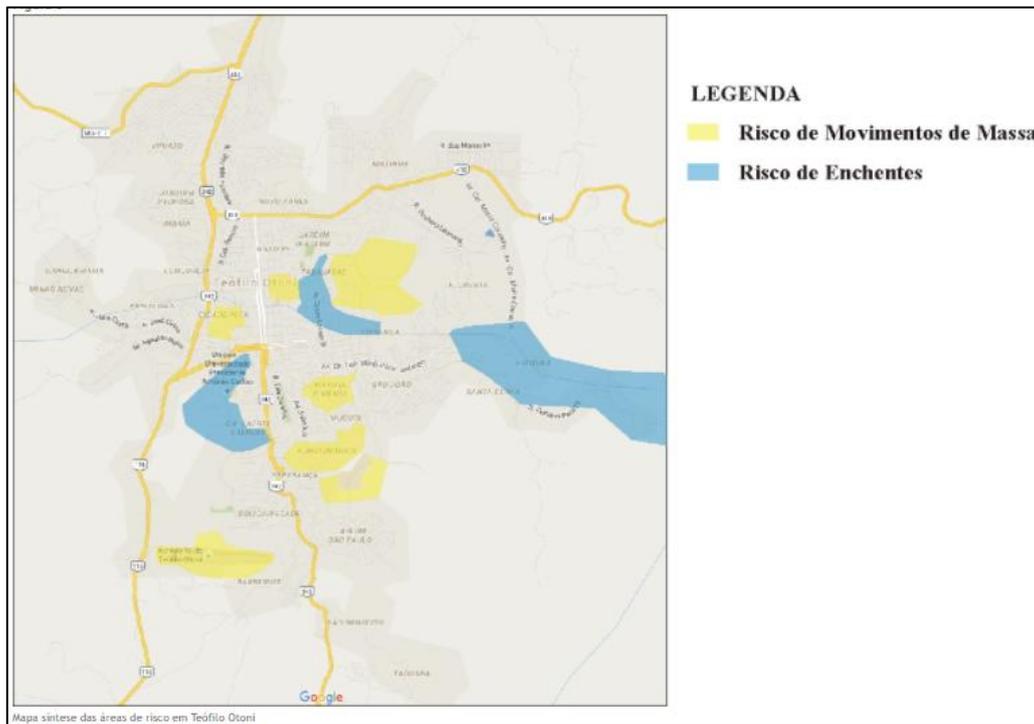


Figura 2 – Mapa síntese das áreas de risco da cidade de Teófilo Otoni. (Lima e Ferraz, 2016).

Tendo em vista as áreas de risco existentes no município de Teófilo Otoni é possível notar que é questão de tempo até a ocorrência de novos desastres. Diversas pesquisas foram feitas com o objetivo de encontrar dados a respeito do histórico e quantidade de deslizamentos na cidade, contudo não foi possível encontrar nenhuma fonte com os dados desejados, dessa forma só foi possível encontrar notícias que relatavam os acontecimentos na cidade.

Não foram encontradas estatísticas de número de mortes decorrentes dos deslizamentos, no âmbito municipal. Porém, o boletim da Defesa Civil do estado de Minas Gerais realizou no mês de janeiro de 2020, um levantamento de 38 mortes decorrentes de enchentes e de deslizamentos provocados pelas fortes chuvas que acometeram o estado. Segundo o boletim, 9.607 pessoas tiveram que deixar suas casas emergencialmente (desalojadas) e 1.823 perderam a moradia. O governo estima que mais de 11,4 mil pessoas foram atingidas de alguma forma pelas chuvas fortes.

Portanto, conforme o portal de notícias Hoje em dia, em 2016 “Deslizamentos de terra deixam mais de 400 pessoas desalojadas em Teófilo Otoni”. Além disso, em 2018 conforme o G1 Vales de Minas Gerais “Prefeitura de Teófilo Otoni decreta situação de emergência após chuvas, seis famílias foram orientadas a deixar suas casas”. Mais recentemente em janeiro de 2020 o jornal MG Inter TV reportou “Casas no bairro Bela Vista correm

risco de desabar. Também há riscos de deslizamentos de terra.”, no mesmo dia o jornal apresentou outro caso “No bairro Manuel Pimenta caiu um barranco que atingiu uma casa.”

A partir dessas problemáticas, criou-se a necessidade do desenvolvimento de um protótipo de sistema de monitoramento de fácil acesso, aplicabilidade e baixo custo com o fim de evitar perdas de vidas humanas nesses desastres naturais. Esse sistema utiliza como base a detecção de possíveis deslizamentos por meio do excesso de umidade no determinado tipo de solo, utilizando um microcontrolador. A partir disso, ele envia um sinal sonoro aos habitantes da região para que possam se precaver da possível catástrofe em uma área de risco. Esse sistema influencia indiretamente no desenvolvimento econômico das comunidades com o desenvolvimento de tecnologias acessíveis.

2. Embasamento Teórico

O Arduino é uma plataforma *open source* de prototipagem embasado em hardware e software, ou seja, trata-se de um projeto de código livre que pode ser “clonado” tanto em software (que utiliza linguagem de programação em C/C++) quanto em hardware (McRoberts, 2010). A plataforma de modelagem eletrônica é de baixo custo, fácil utilização e que permite qualquer pessoa criar projetos (Fetzner Filho, 2015).

2.1. Microcontrolador

Entretanto, devido a necessidade de desenvolver uma plataforma para armazenar os dados e notificar o usuário quando necessário, será necessário utilizar da comunicação Wi-Fi, e apesar de existirem módulos Wi-Fi para o Arduino, para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o microcontrolador ESP32, Figura (3).



Figura 3 – Microcontrolador ESP32 (Espressif, 2021).

O ESP32 é um dispositivo IoT (Internet das Coisas) que consiste em um microprocessador de baixa potência dual core Tensilica Xtensa 32-bit LX6 com suporte embutido à rede Wi-Fi, Bluetooth v4.2 e memória flash integrada. A sua utilização é bem semelhante ao Arduino, na medida que ambos são programados na mesma linguagem e IDE, e a maioria dos sensores e periféricos podem ser compartilhados entre eles, dessa forma pode-se dizer que o ESP32 é uma versão aprimorada do Arduino.

2.2. Deslizamentos

O termo “deslizamento” pode ser considerado um termo genérico para descrever o movimento de declínio do solo, e de todos os materiais que o compõem, sob o efeito da gravidade. Os deslizamentos em áreas de risco (encostas) são caracterizados pela movimentação de volumes de terra como uma massa coerente ou semicoerente com pequena deformação interna, segundo Castro et al. (2003). A definição da palavra é confirmada também por Tominaga, Santoro e Amaral (2015) que afirmam que “os escorregamentos, também conhecidos como deslizamentos, são processos de movimentos de massa envolvendo materiais que recobrem as superfícies das vertentes ou encostas, tais como solos, rochas e vegetação”.

Segundo Castro et al. (2003) uma das principais causas de recorrência de deslizamentos é a infiltração de água e a embebição do solo das encostas. Os deslizamentos estão relacionados a três fatores: o tipo de solo, o declínio da encosta e a quantidade de água embebida no solo, que contribui para o aumento do peso da encosta. Castro et al. (2003), cita que a medida local de níveis de embebição do terreno pela água, permite antecipar os desastres iminentes.

Os deslizamentos são caracterizados quanto ao tipo de movimento e ao material. O tipo de movimento descreve a mecânica interna de como a massa é deslocada, sendo eles: queda, tombamento, escorregamento, espalhamento ou escoamento. Já o material em uma massa deslizante, pode ser rocha ou solo (ou ambos). Os deslizamentos podem ser causados por fatores naturais ou fatores antrópicos. Dentre as ocorrências naturais, eles podem ser pela: água, atividades sísmicas ou atividades vulcânicas. Mas no Brasil, não é necessário se preocupar com atividades sísmicas e vulcânicas, portanto neste artigo será levado em consideração apenas a ação da água.

Existem também os agentes efetivos, que atuam de forma direta no deslizamento. Podem ser separados em preparatórios (umidade, erosão, pluviosidade, ação de fontes e mananciais) e imediatos (chuva intensa, terremotos, vibração). Contudo, é perceptível que o principal agente causador natural é a água proveniente, principalmente, de grandes valores pluviométricos que ocasionam mudanças no nível de água do solo. A ocorrência de movimento, com o aumento da umidade do solo e o aumento das linhas de saturação, deve-se a esses valores (Castro, 2006).

Um fator muito relevante na ocorrência de deslizamento em áreas de risco é devido à intensa urbanização, a população de baixa renda passou a ocupar áreas consideradas desfavoráveis para habitação, sem planejamento e sem infraestrutura. Essa ocupação ocorre de maneira inadequada, removendo a cobertura vegetal do solo e fazendo inclinação excessiva em encostas que já possuem uma certa predisposição à instabilidades. Castro et al. (2003) afirma que a “ocupação caótica das encostas urbanas é a principal causa dos escorregamentos, causadores de importantes danos humanos, inclusive de mortes, além dos danos materiais e ambientais, e dos graves prejuízos sociais e econômicos”.

Outros fatores comuns ocasionados pelo homem são alteração dos padrões de drenagem, vazamentos de tubulações e escavação de encostas que acabam gerando um aumento da carga no cume da mesma.

3. Metodologia

O solo é composto por três fases principais, sólido contendo matéria orgânica e inorgânica, líquido em forma de solução de água do solo e gasoso contendo ar no solo. Um dos fatores que podem determinar o risco de ruptura e deslizamento do solo é o teor de umidade que é determinado através da razão da quantidade de massa de água presente na amostra de solo sobre a massa seca da amostra. A partir disso, é possível analisar e compreender o comportamento do solo devido a porcentagem de água presente no solo. Essa técnica é utilizada com frequência por profissionais da construção civil, e é determinada pela Equação (1).

$$m = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_2} \quad (1)$$

Onde: m (%) = teor de umidade, m1 = massa úmida, m2 = massa seca.

Um dos casos de maior frequência do deslizamento é quando uma fina camada de solo, desliza sobre a rocha. Quando ocorre o período chuvoso, a água infiltra no terreno, e atravessa a camada de terra até chegar à rocha, em seguida a água muda de direção seguindo a inclinação da encosta, se a chuva continuar o solo fica saturado e a água provoca uma força, empurrando a encosta para baixo. Neste momento, através de ensaios técnicos do solo pré-determinados, as características locais do solo e em conjunto com o sensor de umidade do solo, utilizando essa técnica pode-se evitar tragédias. Uma vez que o solo após se romper, desliza sobre a rocha e atinge tudo pela frente com uma grande quantidade de energia, podendo destruir casas, ruas, estradas etc.

O efeito do deslizamento pode ocorrer com maior facilidade em encostas mais íngremes, em localidades de aterros ou em construção de patamares para nivelar o terreno para construção. Nesses casos extremos, o sensor deve emitir o alerta com um fator de segurança maior, pois o rompimento, além da massa de água presente, sofrerá influência da topografia e da composição do solo. Em casos especificamente do aterro, poderá

estar presente, junto ao solo, lixos e outros materiais que diminuem a resistência do solo. O sistema será executado de acordo com o detalhe 1 da Figura (5).

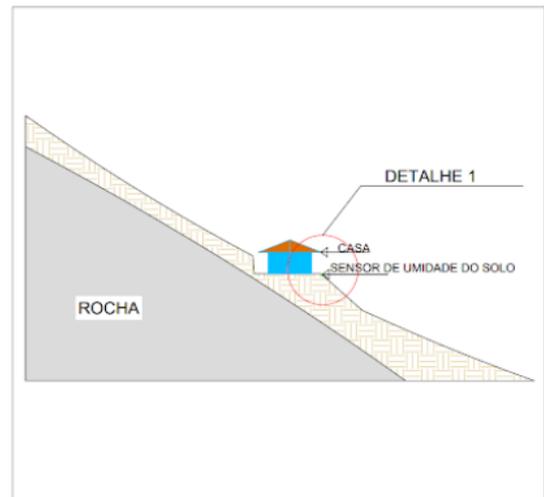


Figura 4 – Esquema representativo de casas em áreas de risco.

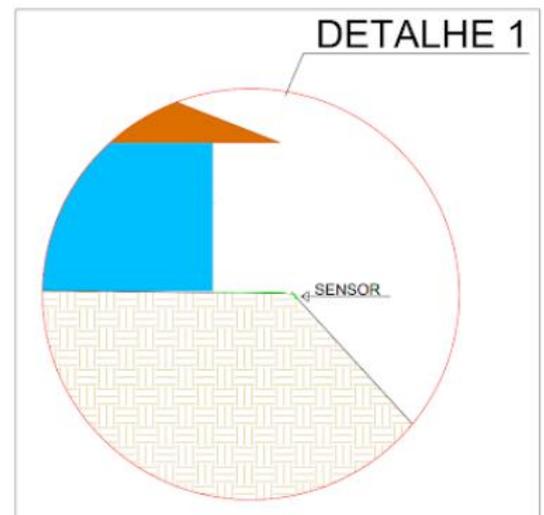


Figura 5 – Representação do posicionamento do protótipo.

3.1. Protótipo

Para confecção do protótipo foram necessários os dispositivos:

- 1 Microcontrolador ESP32;
- 1 Protoboard;
- 1 Sensor de umidade do solo;
- Cabos macho;
- Cabos fêmea;
- 1 Bateria externa de 10.000 mAh

Para realizar a análise da umidade do solo foi utilizado o sensor de umidade YL-69, Figura (6), este mede basicamente a resistividade do solo. Caso o solo esteja molhado, menor será a resistividade, já

se o estiver seco, maior será a resistividade. O sensor consiste em duas superfícies metalizadas e isoladas uma da outra, que devem ser enterradas no solo, a sonda por sua vez é conectada em um módulo que se conecta com o Arduino, como é possível ver na Figura (6).

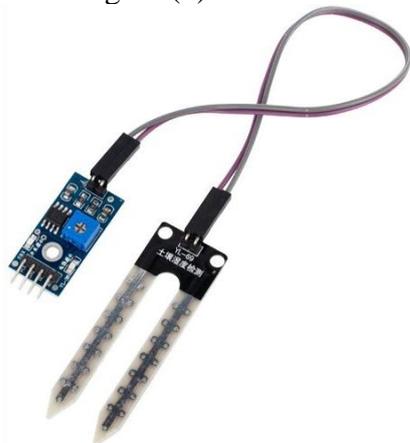


Figura 6 – Sensor de umidade do solo (Eletrogate, 2021).

Dessa maneira, o funcionamento do sensor é baseado em um divisor de tensão no qual a terra molhada sobre essas superfícies, permitirá a passagem de corrente. Essa corrente passando pela resistência do solo desenvolverá uma diferença de potencial (tensão), que será medida pelo conversor ADC do microcontrolador (portas analógicas). O solo funcionará como uma resistência variável, na qual a sua resistência depende da sua umidade. Dessa maneira, a resistência é inversamente proporcional a umidade do solo, ou seja, quanto menor for a umidade do solo, maior será a tensão medida pelo microcontrolador, já caso o solo estiver mais úmido, a tensão deverá ser mais baixa.

Para obter leituras precisas do sensor de umidade do solo, é recomendável calibrá-lo primeiro para o tipo específico de solo que planeja monitorar. Diferentes tipos de solo podem afetar o sensor, então, seu sensor pode ser mais ou menos sensível dependendo do tipo de solo que você usará. A calibragem inicial é realizada em duas etapas, inicialmente é realizado leituras com a sonda seca e fora da terra, após isso realiza-se uma nova leitura com a sonda imersa na água, dessa forma é obtida a voltagem máxima e mínima, respectivamente. A partir desses valores é possível utilizar o seguinte comando:

```
porcentagem = map(leitura_sensor, leitura_seco,
                  leitura_molhado, 0, 100);
```

Esta função simples pega os 2 valores e os converte de 0 a 100% com base no número entre

eles. O primeiro número que você coloca na função de mapa é o valor do sensor quando está completamente seco, e em seguida vem o valor quando está úmido. Os seguintes valores são os valores do mapa, 0 sendo 0% e 100 sendo 100%, dessa forma a leitura_sensor terá uma nova escala.

3.2. Montagem

Inicialmente, conecta-se a sonda no módulo, que por sua vez é conectado no ESP. O módulo possui 4 terminais, a saída analógica, a saída digital, a entrada de energia e o terra. Para a aplicação neste trabalho foi realizada a seguinte montagem: saída analógica conectada na porta 35 do microcontrolador, entrada de energia conectada na porta digital 13 e o terra conectado no pino GND, como pode ser analisado na Figura (7).

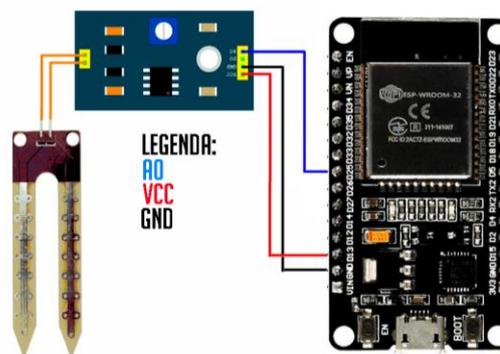


Figura 7 – Esquema de ligações.

A entrada de energia foi conectada em um pino digital. para que assim fosse possível controlar quando ligar e desligar o sensor. Dessa forma, aumentando o tempo de vida do sensor, pois caso ele permaneça ligado ininterruptamente, a sonda será corroída mais rapidamente, devido ao fluxo de corrente elétrica entres os terminais.

No código foi adicionando um temporizador, seriam realizadas 100 leituras a cada 5 minutos e a média dessas leituras seria comparada com uma variável limite, que foi obtida por meio de análises prévias do solo. Caso a média esteja próxima do limite será enviado um sinal via Wi-Fi para uma central que alertará todas as pessoas que vivem próximas a essa região.

Como o sensor é posicionado em encostas, o conjunto foi alimentado por uma bateria externa que permite assim, uma eficiência de dias até que necessite ser recarregada ou trocada. O conjunto ESP32 e a bateria foram colocados em um recipiente isolado, para que não fosse possível

entrar água, e foi realizado também um furo para a passagem da sonda. Dessa forma, o sensor poderia ficar no campo aberto sem a necessidade de tomadas e computador para que ele funcionasse.

Para o monitoramento dos dados foram realizadas duas abordagens. Primeiramente com o auxílio de uma plataforma de desenvolvimento de aplicações IoT (Internet das coisas) foi montado uma planilha de monitoramento online, na qual o sensor coleta as leituras realizadas a cada 5 minutos e envia via Wi-Fi para a plataforma, assim é possível manter um monitoramento constante da umidade do solo. Além disso, foi estabelecida uma porcentagem máxima de tolerância para quantidade de água presente no solo, dessa forma, caso a leitura for maior que o limite pré-estabelecido, o ESP32 acionará um alerta sonoro para alertar os residentes próximos.

Foram cogitados outros tipos de alerta, tais como SMS, notificação no e-mail ou em aplicativo. Contudo, a melhor opção avaliada foi o alerta sonoro, pois para os outros meios seria necessário obter o número de telefone ou o e-mail dos moradores das áreas, já para o aplicativo seria necessário baixá-lo somente para essa finalidade, além de que, caso as pessoas estiverem dormindo o alerta sonoro irá alertá-los imediatamente, função que não seria possível de realizar com as demais abordagens.

4. Discussões

A utilização do sensor de umidade de solo que tem a capacidade de medir a variação de umidade presente no solo, possui características fundamentais de fácil ajuste em sua resolução, assim permite melhorar sua precisão, porém o funcionamento de todo o sistema vai ser influenciado por outras variáveis como inclinação, tipo do solo e inclusive o índice pluviométrico da região. Todos esses parâmetros devem ser avaliados e calculados de forma que possam estabelecer um fator de segurança que atenda a região. Mediante a aplicação neste trabalho tem como finalidade apresentar um modelo de prototipagem de um sistema piloto de alerta para áreas de risco que possam acontecer possíveis deslizamentos ocasionados pelo excesso de chuvas onde a maioria das vezes moradores constroem casas em encostas que apresentam altos riscos de rompimento do solo.

Aplicação do circuito de monitoramento seria em situações reais em que envolvem vidas de

cidadãos que podem depender do sistema de alerta para se precaver e deixar o local. Para isso, necessitaria de equipamentos mais robustos de tal forma que tivessem uma precisão suficiente para identificar a umidade de risco no solo, e que pudesse ser instalado em maior profundidade, já que o modelo atual utilizado no protótipo só permite a leitura da camada superficial do solo.

Essa prototipagem tem aplicabilidade para o setor público, podendo ser desenvolvido com parcerias junto a prefeituras e defesas civis, mediante a sua aplicação que envolveria diretamente a população, para que fosse efetivo o real motivo: segurança e tranquilidade pudessem ser características dos seus usuários. Com capacidade direta de atender o setor público, o sistema através da plataforma Arduino possui vantagem por utilizar linguagem de programação simples, possibilitando que pessoas com pequeno grau de conhecimento sobre programação consiga operar o sistema. Assim, pode ser personalizada com maior facilidade para cada teor de umidade específico e índices físicos, que indicam o risco para o rompimento do solo saturado da região estudada. O sistema precisaria passar por periódicas verificações de funcionamento inclusive a troca adequada do sistema de alimentação via baterias, assim permitindo atender de forma prática a comunidade dependente de toda a estrutura do sistema.

Além disso, ao comparar o protótipo criado com sensores já existentes no mercado, podemos ver que existe uma grande diferença no valor deles, como é possível perceber nas Tabelas (2) e (3):

Tabela 2 – Custo para criação do sensor.

Componentes para o sensor de umidade	
Itens	Preço médio
Microcontrolador ESP32	R\$ 71,60
Sensor de umidade do solo	R\$ 11,27
Buzzer	R\$ 5,00
Bateria externa recarregável (10.000mah)	R\$ 80,00
Custo Total	R\$ 167,87

Tabela 3 – Valor de sensores já existentes no mercado.

Sensores de Umidade Disponível No Mercado Nacional	
Itens	Preço médio
Sensor de Umidade do Solo SMRT-Y - Rain Bird	R\$ 1.948,15
Sensor de umidade do solo Pro S300 Gardentoy	R\$ 199,00
Sensor de Umidade do Solo - k6440	R\$ 1.074,00

Analisando as figuras podemos analisar que existe uma grande diferença entre os valores do sensor desenvolvido e dos sensores existentes, ao realizar novos testes será possível determinar a eficiência do sensor desenvolvido e determinar as suas possíveis aplicações, já os sensores existentes têm uma grande precisão para realizar estudos específicos sobre o solo e suas características.

5. Considerações finais

Tendo em vista os aspectos observados neste presente trabalho, considera-se a necessidade de ênfase no estudos do monitoramento de área de risco de forma segura, eficiente e de baixo custo, por tanto para o desenvolvimento do sistema observa-se que a plataforma Arduino, permite atender a maioria destes requisitos, porém sensor utilizado para a prototipagem, utilizado de forma provisória, pois o mesmo não atende solos profundos, já que sua aplicação para o qual geralmente é empregado em setores agrícolas, para o monitoramento superficial da umidade no solo de plantações e hortas.

O sensor integrado com um sistema sonoro para emitir o alerta é uma das soluções mais viáveis para o sistema, pois como dependerá de um fenômeno físico, que nesse caso é a chuva, o sistema de o objetivo imediato de alertar os moradores que estão próximo do local onde está instalado, assim conseguindo ser um sistema independente de outros equipamentos, ferramentas adicionais podem ser integradas como o envio de uma mensagem via SMS, e-mail ou notificação em aplicativo, esse alerta através de mensagens eletrônicas seria enviado para algum setor público que poderia socorrer o local, como defesa civil, prefeitura ou até mesmo corpo de bombeiros.

Porém com atualização de sensores de umidade de solo mais robusto e com melhor precisão e o sistema operado de forma eficiente, trazendo maior confiabilidade para sua utilização, no atual trabalho o sistema é alimentado por baterias, pensado a longo prazo o sistema pode ser utilizado com a alimentação elétrica via uma fonte de 5 volts, onde evitaria a troca constante de baterias. Como o sistema seria útil em épocas chuvosas em períodos de seca todo sistema pode ser facilmente desmontado e remontado na época que realmente haja necessidade de sua aplicação

Referências

- ARDUINO.CC., 2021. *What is Arduino?*. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/guide/introduction#>> [Acessado 30 Março 2021].
- Barroso, F., Santos, F.A., Silva, G.N.N., Alves, J.H., Colares, L.F., Jardim, R.L.F., Ferraz, C.M.L. e Barbosa, F.A., 2016. Estudo de caso de movimentos gravitacionais de massa na Rua Manoel Ramos de Souza e Avenida Agnaldo Neiva, na cidade de Teófilo Otoni - MG. In: *Siangeo – Simpósio Nacional de Geomorfologia*. Disponível em <<http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/8/8-431-1053.html>> [Acessado 25 abril 2021].
- Castro, A.L.C., Calheiros, L.B., Cunha, M.I.R. e Bringel, M.L.N.C., 2003. *Manual de desastres: desastres naturais*. Brasília, p.108-117.
- Castro, J.M.G., 2006. *Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto*. Doutorado. Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <https://www.propec.ufop.br/uploads/propec_2016/teses/arquivos/tese116.pdf> [Acessado 25 Março 2021]
- Eletrogate, 2021. *Sensor de umidade do solo*. 2021. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-umidade-de-solo?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=CjwKCAjwzt6LBhBeEiwAbPGOgbcV9yMrwoqtQAwWtZZC73uU2cILu4MJCKooNfyLEJPf4zUh-LVN2hoC6egQAvD_BwE> [Acessado 25 de abril].
- Espressif, 2021. *Esp 32*. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>> [Acessado 25 abril 2021].
- Ferraz, C.M.L., Valadão, R.C. e Henriques, R.J., 2016. Geomorfologia do espaço urbano de Teófilo Otoni (MG): Contribuições ao ordenamento territorial. In: *Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Londrina. Disponível em: <<http://sinageo.org.br/2016/trabalhos/8/8-408-1053.html>> [Acessado 25 Abril 2021].
- Fetzner Filho, G., 2015. *Experimentos de baixo custo para o ensino de Física em Nível Médio usando a placa Arduino-UNO*. Porto Alegre. Disponível em: <<http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/rd/n>>

01_Fetzner/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Gilberto_Fetzner.pdf> [Acessado 25 Março 2021].

Lima, C.F. e Ferraz, C.M.L. 2016. *Desastres naturais na cidade de Teófilo Otoni, minas gerais: proposta de mapeamento sintético*. In XI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/8/8-526-1053.html>> [Acessado 25 abril 2021].

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. *Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil: primeira aproximação*. Rio de Janeiro: IBGE.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1987. *Folha SE 24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial do solo*. Rio de Janeiro: IBGE.

Marcelino, E., 2008. *Desastres naturais e geotecnologias: conceitos os básicos*. Santa Maria. Disponível em: <<http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.02.16.22/doc/publicacao.pdf>> [Acessado 12 Abril 2021].

McRoberts, M., 2011. *Arduino básico*. São Paulo: Novatec Editora. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4287597/mod_resource/content/2/Ardu%20B%20B%20-%20Michael%20McRoberts.pdf> [Acessado 25 Março 2021].

Parisi, G., Pinho, D., 2012. *Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Teófilo Otoni, MG*. São Paulo. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/19228>> [Acesso em: 25 abril 2021].

Rodrigues, L., 2012. *Introdução ao Arduino*. Campo Grande: Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS.

Tominaga, L.K., Santoro, J. e Amaral, R. eds., 2015. *Desastres Naturais: Conhecer para prevenir*. 3ed. São Paulo: Instituto Geológico.