



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT**  
**ENGENHARIA CIVIL**



**CONSTRUÇÃO DE UMA ESTAÇÃO  
GEOMETEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO PARA  
O MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE  
TALUDES**

**Autor: Mateus Correia de Medeiros**

**Orientador: Prof. André Luís Brasil Cavalcante, PhD**

**Coorientadora: Eng. Katherin Rocio Cano Rojas, MSc**

**Mateus Correia de Medeiros**

# **CONSTRUÇÃO DE UMA ESTAÇÃO GEOMETEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO PARA O MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE TALUDES**

Monografia submetida ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. André Luís Brasil Cavalcante, PhD

Coorientadora: Eng. Katherin Rocio Cano Rojas, MSc

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CONSTRUÇÃO DE UMA ESTAÇÃO  
GEOMETEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO PARA O  
MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE TALUDES**

**MATEUS CORREIA DE MEDEIROS**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**ANDRÉ LUÍS BRASIL CAVALCANTE, PhD (ENC-UnB)**  
**(ORIENTADOR)**

---

**KATHERIN ROCIO CANO ROJAS, MSc (ENC-UnB)**  
**(COORIENTADORA)**

---

**ELEUDO ESTEVES DE ARAÚJO SILVA JÚNIOR, DSc (ENC-UnB)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**THIAGO AUGUSTO MENDES, MSc (ENC-IFG)**  
**(EXAMINADOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 10 de maio de 2022.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MEDEIROS, MATEUS CORREIA

Construção de uma estação geometeorológica de baixo custo para o monitoramento em tempo real de taludes. Distrito Federal, 2022.

xiv, 67p, 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2022).

Trabalho de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- |                          |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|
| 1. Deslizamento de Terra | 2. Monitoramento de Taludes      |
| 3. Interdisciplinaridade | 4. Instrumentação de Baixo Custo |
| 5. Arduino               | 6. Modelagem computacional       |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MEDEIROS, M.C. (2022). Construção de uma estação geometeorológica de baixo custo para o monitoramento em tempo real de taludes. Trabalho de Projeto Final. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 67p.

## CESSÃO DE DIREITOS

**NOME DO AUTOR:** Mateus Correia de Medeiros

**TÍTULO DO TRABALHO DE PROJETO FINAL:** Construção de uma estação geometeorológica de baixo custo para o monitoramento em tempo real de taludes.

**GRAU/ANO:** Bacharel em Engenharia Civil / 2022.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Mateus Correia de Medeiros

[mateuscorreia.df@gmail.com](mailto:mateuscorreia.df@gmail.com)

Brasília/DF - Brasil

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que em todos os momentos de dificuldade me deu forças para continuar e me possibilitou chegar até aqui. Por diversas vezes me vi aflito, mas em nenhum momento da minha vida me senti sozinho, pois o Senhor sempre esteve comigo.

Aos meus pais, que sempre me mostraram que a batalha e o trabalho duro fazem parte da vida e que devemos encarar todas as dificuldades da melhor forma possível. À toda minha família, que graças a Deus é muito grande, onde todos os integrantes tiveram uma parcela de contribuição para minha formação, pois sempre me incentivaram e apoiaram para que eu pudesse dar o meu melhor.

Aos meus irmãos, pois apesar de ser o “filho do meio” ambos me ajudaram indiscriminadamente durante toda a minha jornada. Aos meus tios Reinaldo e Locimar, que basicamente me apadrinharam e foram fundamentais para a minha criação, me lembrando sempre que devemos sonhar. À minha tia Clemilda, que sempre me incentivou para os estudos desde o ensino básico, me iniciando no caminho da leitura e posteriormente me auxiliando para que eu pudesse me dedicar ao Vestibular e conseguir o curso que sempre sonhei na UnB.

À minha tia Maria das Graças, que me deu o meu primeiro emprego assim que eu ingressei na faculdade, onde eu podia trabalhar nos feriados e fins de semana e assim me manter focado durante os dias úteis na faculdade. Durante todo esse tempo ela me dizia que eu a ajudava, mas a pessoa que mais foi ajudada fui eu.

Aos meus amigos que hoje também considero da família, pois já se tornaram praticamente irmãos! Em especial aos meus amigos de curso Mateus Tiago, Thiago Torres, Enzo Aldo, Iago Quirino, Dhara Vieira, Daniel Batista, Pedro Henrique e Vitor Nunes. São muitos amigos, o que me torna ainda mais grato por tudo até aqui.

Ao meu orientador André Brasil e minha coorientadora Katherin Rocio por sempre me auxiliarem da melhor forma possível, me ouvindo e aconselhando para que eu pudesse desenvolver o meu melhor.

À todos, o meu muito obrigado!!

## RESUMO

### **Construção de uma Estação Geometeorológica de Baixo Custo para o Monitoramento em Tempo Real de Taludes**

Deslizamentos de terra são um dos problemas mais recorrentes na atualidade do cenário brasileiro. Uma das formas de prevenção é a busca por métodos de estabilização de áreas vulneráveis a este tipo de fenômeno natural. Entretanto, métodos de estabilização possuem um custo muito elevado, o que impede, na maior parte das vezes, o acesso a estes métodos.

Tão importante quanto a estabilização de encostas, o monitoramento das áreas de risco de deslizamento é fundamental para se evitar maiores danos, salvando vidas e reduzindo prejuízos ambientais, sociais e financeiros.

Desta forma, como uma alternativa de monitoramento meteorológico e geotécnico de áreas suscetíveis a deslizamentos de terra, o projeto promoveu a criação de uma ferramenta acessível, consistindo em uma estação geometeorológica, tendo como uma das premissas mais importante ser de baixo custo e de fácil implementação.

Com esta proposta pretendeu-se inovar no campo do monitoramento de encostas oferecendo um equipamento de baixo custo financeiro e computacional, que seja de fácil acesso e de simples compreensão dos dados coletados para que o alcance desta tecnologia desenvolvida chegue até as áreas socialmente vulneráveis e de maior necessidade.

O trabalho também ofereceu contribuição em aspectos técnicos e ações específicas que podem ser balizadoras de políticas públicas relacionadas à prevenção de riscos de desastres, como: instrumentos de avaliação de risco, comunicação sobre vulnerabilidade e desastres naturais, plano estratégico para ações emergenciais e mapeamento de áreas de risco.

Além disso, o trabalho fomenta o desenvolvimento de pesquisas interdisciplinares por estabelecer relações entre diferentes ramos do conhecimento. Dessa forma, observa-se o envolvimento e aplicação prática de áreas como geotecnia, hidrologia, eletroeletrônica, tecnologia da informação e outras.

**Palavras-chave:** Deslizamento de Terra, Interdisciplinaridade, Estação Geometereológica, Instrumentação, Arduino e Modelagem computacional.

## **ABSTRACT**

### **Construction of a Low Cost Geometeorological Station for Real Time Monitoring of Slopes**

Landslides are one of the most recurrent problems in the Brazilian scenario today. One of the forms of prevention is the search for methods to stabilize areas vulnerable to this type of natural phenomenon. However, stabilization methods have a very high cost, which, in most cases, restrains access to these methods.

As important as the stabilization of slopes, the monitoring of landslide risk areas is essential to avoid further damage, save lives and reduce environmental, social, and financial losses.

In this way, as an alternative for meteorological and geotechnical monitoring of areas susceptible to landslides, the project developed an accessible tool, consisting of a geometeorological station and a data analysis platform, having as main premises to be low cost. and easy implementation.

With this technique, it was intended to innovate in the field of hillside monitoring, offering equipment of low financial and computational cost, that is easily accessible and simple to understand the data collected so that the reach of this developed technology reaches the socially vulnerable areas and most in need.

The work also contributed to technical aspects and specific actions that can be guidelines for public policies related to the prevention of disaster risks, such as risk assessment instruments, communication about vulnerability and natural disasters, strategic plan for emergency actions, and mapping of risk areas.

In addition, the work encourages the development of interdisciplinary research by establishing relationships between different branches of knowledge. In this way, the involvement and practical application of areas such as geotechnics, hydrology, electronics, information technology and others can be observed.

**Keywords:** Landslide, Interdisciplinarity, Geometereological Station, Instrumentation, Arduino and Computational Modeling.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações Iniciais .....	1
1.2. Caracterização do Problema .....	1
1.3. Proposta do Trabalho .....	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivos Gerais .....	3
1.4.2. Objetivos Específicos .....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Contexto dos Movimentos de Massa no Brasil .....	4
2.2. Principais Causas de Rupturas das Encostas .....	6
2.3. Avaliação da Estabilidade de Encostas.....	7
2.4. Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes.....	9
2.5. Influência da Água na Estabilidade de Encostas .....	10
2.6. Parâmetros e Ensaios para Análise de Estabilidade.....	12
2.7. Utilização do Arduino na Construção de Instrumentos de Baixo Custo .....	13
2.7.1. Digital vs Analógico.....	14
2.7.2. Características de uma Porta Digital ( <i>pull-up e pull-down</i> ).....	15
2.7.3. Características de uma Porta Analógica.....	16
2.8. Instrumentação em Campo para Avaliar a Estabilidade de Encostas.....	16
3. METODOLOGIA.....	18
3.1 Instrumentação Necessária.....	18
3.2. Pluviômetro.....	19



3.2.1.	Volume de Água por Milímetro .....	21
3.2.2.	Sistema de Medida do Pluviômetro Digital.....	22
3.2.3.	Pluviômetro Arduino de Alumínio.....	23
3.2.4.	Esquema de Ligação do Pluviômetro .....	25
3.3.	Anemômetro Arduino .....	25
3.3.1.	Montagem Física (Hardware).....	27
3.4.	Indicador de Direção do Vento – Biruta.....	28
3.4.1.	Esquema do Indicador de Direção do Vento – Biruta.....	29
3.5.	Sensor de Umidade do Solo.....	30
3.5.1.	Esquema de Ligação Sensor de Umidade do Solo .....	30
3.6.	<i>Shield Data Logger Arduino</i> com RTC DS1307 .....	31
3.7.	Fonte de Alimentação – 9V .....	32
3.8.	Construção da Estação Geometeorológica.....	32
3.8.1.	Integração dos Códigos Fontes.....	32
3.8.2.	Integração dos componentes da Estação Geometeorológica.....	33
3.8.2.	Concepção Geral.....	35
3.9.	Coleta de Dados com a Estação Geometeorológica .....	37
4.	ANÁLISE DE DADOS .....	40
4.1.	Verificação do Funcionamento da Estação Geometeorológica .....	40
4.2.	Análise Gráfica com o Wolfram Mathematica .....	41
4.2.1.	Dados de chuva obtidos pelo pluviômetro - Arduino.....	41
4.2.2.	Dados de umidade do solo obtidos pelos sensores de umidade - Arduino.....	43
4.2.3.	Biruta e Anemômetro .....	45
4.3.	Análise de Custo Benefício da Estação .....	47

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....	49
---------------------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de Deslizamentos Ocorridos no Brasil.....	2
Figura 2 - Distribuição regional de Desastres Vinculados aos Movimentos de Massa no Brasil - Anuário Brasileiro de Desastres Naturais (2014).....	5
Figura 3 - Estações Geotécnicas versus Estações Meteorológicas.....	5
Figura 4 – Deslizamento de Terra em uma Zona Urbana do Espírito Santo.....	7
Figura 5 - Perfil de Poropressão (Gerscovich, 2016). ....	12
Figura 6 - Placa UNO R3 (Rocha <i>et al.</i> , 2018).....	14
Figura 7 - Analogia Digital (Escada) x Analógico (Rampa).....	15
Figura 8 – Fases Metodológicas de Trabalho.....	18
Figura 9 - Pluviômetro Simples ou Pluviômetro Analógico (USAINFO, 2022). ....	19
Figura 10- Pluviômetro Digital de Bâscula (USAINFO, 2022).....	20
Figura 11- Volume de Água por Metro Quadrado (USAINFO, 2022)..	21
Figura 12 - Medidas do Coletor do Pluviômetro Arduino (USAINFO, 2022). ....	22
Figura 13 - Pluviômetro Arduino de Alumínio (USAINFO, 2022).....	23
Figura 14 - Sistema Interno de Funcionamento do Pluviômetro em Alumínio (USAINFO, 2022).....	24
Figura 15- Ilustração do Sistema de Funcionamento das Bâsculas (USAINFO, 2022). .....	24
Figura 16 - Esquema de Ligação do Projeto Pluviômetro Arduino (USAINFO, 2022). .....	25
Figura 17 – Funcionamento da Porta Reed Switch do Anemômetro (USAINFO, 2022). .....	26
Figura 18 - Esquema de Ligação do Anemômetro (USAINFO, 2022).....	27
Figura 19 - Módulo de Funcionamento do Indicador de Direção do Vento (USAINFO, 2022).....	28

Figura 20 - Representação Biruta Arduino (USINAINFO, 2022).....	29
Figura 21 - Esquemático Projeto Sensor de Umidade do Solo Arduino (USINAINFO, 2022).....	30
Figura 22- Placa RTC e <i>DataLogger</i> .....	31
Figura 23 - Fonte de Alimentação 9V. ....	32
Figura 24 - Montagem Preliminar com a Placa <i>Proto-board</i> . ....	33
Figura 25 - Processo de Solda dos Componentes da Estação Geometeorológica. ....	34
Figura 26 - Caixa para Armazenamento Adaptada. ....	35
Figura 27 – Concepção Geral. ....	36
Figura 28 - Ensaio para Verificação da estação Geometeorológica. ....	37
Figura 29 - Ensaio para Verificação da Estação Geometeorológica. ....	38
Figura 30 - Dados do Pluviômetro e dos Sensores de Umidade. ....	40
Figura 31 - Dados dos Sensores (Anemômetro e biruta). ....	41
Figura 32 - Hietograma Completo do Ensaio. ....	42
Figura 33 - Hietograma com Intervalo de 5 min. ....	43
Figura 34 - Correlação entre os <i>Bits</i> e o Teor de Umidade do Solo. ....	44
Figura 35 - Distribuição dos Sensores de Umidade do Solo. ....	45
Figura 36 - Leitura dos Dados de Velocidade do Vento. ....	46
Figura 37 – Variação da Direção do Vento. ....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de segurança desejado contra perdas humanas.....	8
Tabela 2 - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais. ....	8
Tabela 3 - Fatores de segurança mínimos para escorregamentos.....	9
Tabela 4 – Exemplos de métodos de análise de estabilidade de taludes. ....	10
Tabela 5 - Caracterização do solo conforme a NBR 11682. ....	12
Tabela 6 - Equipamentos da estação geometeorológica. ....	19
Tabela 7 - Relação da resistência e direção do vento. ....	29
Tabela 8 - Relação entre <i>bits</i> , teor de umidade volumétrico e o grau de saturação. ....	43
Tabela 9 – Custo dos Componentes da Estação Geometeorológica - maio de 2022.....	48

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Considerações Iniciais**

Deslizamentos ocorrem por todo o planeta, sob todas as condições climáticas e de terreno, custando bilhões em perdas monetárias, sendo responsáveis por milhares de mortes a cada ano. Frequentemente estes fenômenos físicos causam problemas econômicos de longo prazo, desalojam a população e afetam negativamente o meio ambiente. (Highland & Bobrowsky, 2008)

Normalmente, a estabilização de áreas marcadas por deslizamentos tem um custo muito alto, o que impede o acesso a este serviço em grande parte dos casos. Tão importante quanto o serviço de estabilização, o monitoramento das áreas de risco de deslizamento é fundamental para se evitar maiores danos, salvando vidas e reduzindo prejuízos ambientais e financeiros.

Contudo, os instrumentos para monitoramento de taludes ainda são inacessíveis em regiões mais carentes e, mesmo em regiões que já passaram por obras de estabilização, o monitoramento constante também é necessário na maioria dos casos, o que torna a situação ainda mais crítica. Este problema é ainda maior quando percebe-se que uma parcela considerável das áreas de risco está atrelada ao crescimento desordenado da população, uma vez que muitas famílias se arriscam nestas regiões em busca de moradia.

Dessa forma, vê-se o quão importante é o desenvolvimento de pesquisas que busquem minimizar este problema, produzindo instrumentos que forneçam informações de qualidade para o monitoramento de áreas de riscos de deslizamentos e que possuam baixo custo de implantação e manutenção. Assim, possibilitando o acesso a esta tecnologia mesmo nas áreas mais carentes e com baixo investimento em infraestrutura pública.

### **1.2. Caracterização do Problema**

Diversas vezes, os solos que compõem as encostas apresentam grande heterogeneidade, isso faz com que o entendimento do seu comportamento se torne bem mais complexo. Assim, vê-se necessária uma criteriosa avaliação de seus parâmetros com o intuito de obter o máximo de informações possíveis para análise do solo. Dessa maneira, os dados

obtidos por meio das instrumentações geotécnicas e climáticas são extremamente necessários para analisar seu comportamento e suas peculiaridades (Sestrem, 2012).

Os processos de movimentação de massa podem ser deflagrados por diferentes motivos, resultando quase sempre em enormes prejuízos a sociedade. No entanto, a infiltração de água no solo ainda é um dos principais responsáveis pelos processos de deslizamentos de encostas. Isso ocorre uma vez que a variação do teor de umidade do solo pode quebrar o equilíbrio de forças atuantes no talude, inclusive agindo na deflagração de processos erosivos (Molinari, 2005).

Infelizmente, basta realizar uma pequena pesquisa sobre os acidentes envolvendo deslizamentos de terra no Brasil que é possível observar o aumento da ocorrência destes eventos nos últimos anos. Além disso, os danos causados por estes eventos têm se tornado cada vez mais severos, custando até mesmo vidas nos casos mais graves. A figura 1 apresenta uma breve linha do tempo com alguns eventos de deslizamentos que ocorreram no Brasil entre os anos de 2018 e 2021. Estes são alguns exemplos de eventos que poderiam ter seus efeitos minimizados caso houvesse um monitoramento mais ativo da região.



**Figura 1 – Exemplos de Deslizamentos Ocorridos no Brasil.**

### 1.3. Proposta do Trabalho

Logo, este trabalho visa contribuir com a proposta de construção e desenvolvimento de uma estação geometeorológica de baixo custo para o monitoramento de taludes e, para isto, une diferentes áreas da engenharia, tais como: geotecnia, hidrologia e ciências da computação.

Para a Hidrologia pode ser citado a produção de uma estação meteorológica de baixo custo para a coleta de dados de precipitação, direção e velocidade do vento. Acoplado a esta estação foram dispostos sensores geotécnicos para determinação do teor de umidade do solo, ligados a uma placa de Arduino para a aquisição de dados, contribuindo para a área de Geotecnia. Já para a área computacional, foi desenvolvido um código próprio em linguagem Arduino para coleta, armazenamento, análise e visualização dos dados obtidos no monitoramento proposto. O Arduino foi a linguagem de programação escolhida pois, dentre outros fatores, possui uma linguagem aberta *open-software* e componentes de fácil aquisição comercial e baixo custo.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivos Gerais**

O objetivoprincipal desta pesquisa é a construção de uma estação geometeorológica de baixo custo para o monitoramento de taludes, possibilitando a avaliação do risco associado aos deslizamentos superficiais deflagrados por chuvas mesmo em regiões mais carentes de investimento.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos definidos para o desenvolvimento da pesquisa são:

- a) Escolher e estudar os sensores relevantes para a composição da estação geometeorológica no contexto de estabilidade de encostas;
- b) Desenvolver a integração dos sensores por meio da plataforma *Arduino* para a construção da estação geometeorológica de baixo custo;
- c) Construir o protótipo da estação geometeorológica completa;
- d) Verificar o funcionamento da estação proposta por meio de um ensaio que simule as condições naturais em modelo reduzido.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Contexto dos Movimentos de Massa no Brasil**

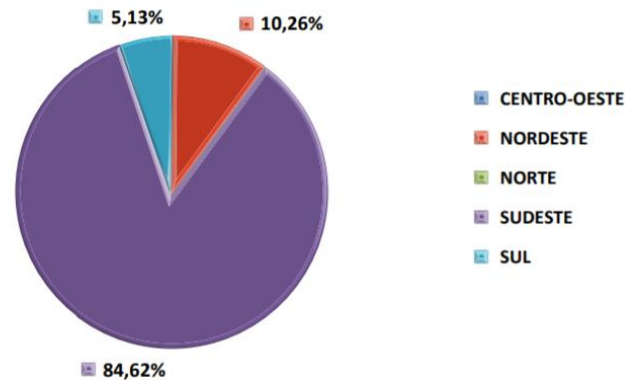
Movimento de massa, também denominado como deslizamento, escorregamento, ruptura de talude, queda de barreiras, entre outros, se refere aos movimentos de descida de solos e rochas sob o efeito da gravidade, geralmente potencializado pela ação da água. O Brasil é considerado muito suscetível aos movimentos de massa devido às condições climáticas marcadas por verões de chuvas intensas em regiões de grandes maciços montanhosos (Guimarães, 2008).

Os deslizamentos de terra têm se tornado cada vez mais evidentes quando analisados dentro do contexto urbano do Brasil, já que os desastres relacionados aos deslizamentos de encostas e de morros urbanos se intensificaram com o crescimento desordenado da população, causando enormes danos ao meio ambiente e muitas vezes custando vidas. Vale ressaltar que o avanço de comunidades em áreas de risco é um reflexo econômico, atingindo a população mais carente que busca estas áreas por falta de opções de moradias regulares.

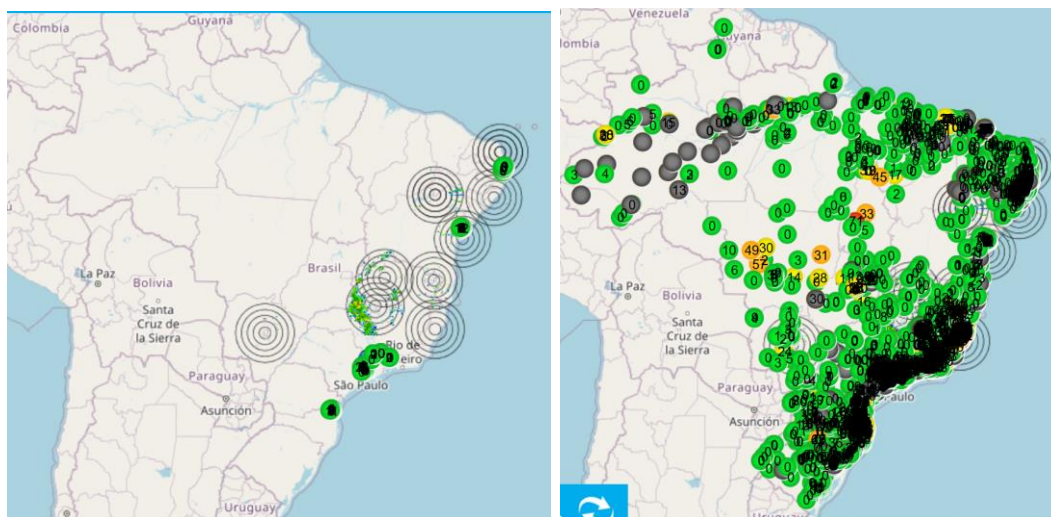
No Brasil, a incidência de deslizamentos de terra ocorre geralmente pelo aumento das solicitações na encosta e da redução da resistência do material do talude, regularmente relacionado a construções em locais inadequados e pela presença de água dentro do maciço. Segundo a pesquisa do anuário brasileiro de desastres naturais de 2013, que mapeia a ocorrência desses eventos em todo o território nacional, a região brasileira que possui mais ocorrências relacionadas aos movimentos de massa é a região Sudeste, tendo um total de 84,62% da totalização dos eventos em 2013, último ano da pesquisa. Esta distribuição pode ser observada pelo gráfico da figura 2.

Outro fator importante que também deve ser considerado é a diferença entre o número de estações pluviométricas e geotécnicas no Brasil. O CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais) fornece um mapa com a distribuição regional de pluviômetros e estações geotécnicas, conforme a figura . Enquanto o mapa da esquerda nos mostra um número bem reduzido de estações geotécnicas, o mapa da direita demonstra uma grande distribuição de estações pluviométricas.

Isso ocorre, dentre outros fatores, devido ao fato de que os dados de precipitação podem ser obtidos com um menor custo quando comparados aos geotécnicos, além do fato de que suas informações também são bastante úteis para o campo da agricultura. De toda forma, fica nítido que a produção de uma estação geometereológica de baixo custo ajudaria bastante com os avanços no campo da geotecnia.



**Figura 2** - Distribuição regional de Desastres Vinculados aos Movimentos de Massa no Brasil - Anuário Brasileiro de Desastres Naturais (2014).



**Figura 3** - Estações Geotécnicas versus Estações Meteorológicas.

Dados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) indicam que, no período de 1988 a março de 2011, ocorreram 3.114 vítimas associadas a eventos de

deslizamentos de encostas e processos correlatos em 243 municípios, evidenciando a necessidade de um monitoramento constante das encostas e taludes nestas regiões brasileiras, as quais ficam mais vulneráveis aos movimentos de massa nos períodos de chuvas intensas.

## **2.2. Principais Causas de Rupturas das Encostas**

Na engenharia geotécnica, as causas dos movimentos de massa podem ser divididas em dois tipos distintos, internas ou externas.

As causas externas são caracterizadas pelo aumento das solicitações, ou seja, fazem com que as tensões cisalhantes superem as tensões resistentes ao cisalhamento do material que constitui a encosta. Este aumento de tensões pode estar relacionado a alteração da declividade, geralmente intensificada por cortes, escavações ou erosões. Além disso, o acréscimo de cargas na parte superior das encostas, seja pela deposição de materiais de maneira inadequada ou até mesmo por construções indevidas, também são fatores que contribuem para o aumento das tensões cisalhantes.(Caputo, 1996)

Neste caso, os problemas estão geralmente ligados a realização de cortes e aterros para a construção de regiões planas que, na maioria das vezes, são prejudicadas por problemas de drenagem das águas servidas e pluviais, além do lançamento inadequado de lixo.

As causas internas são caracterizadas pela redução da resistência ao cisalhamento do material que constitui a encosta. As mais comuns estão relacionadas a presença de água no interior do maciço, uma vez que sua variação em relação ao estado natural pode afetar de diferentes maneiras a estabilidade das encostas. Isso ocorre, pois a adição de água no solo pode contribuir para o aumento da poropressão positiva, decréscimo da coesão do material e variações do nível do lençol freático. Todas estas situações podem desencadear um movimento de massa.

Assim, tendo em conta a variabilidade espacial e temporal do estado da água na encosta, se torna extremamente necessário a implementação de instrumentos que monitorem as regiões críticas dos taludes para ajudar na previsão de rupturas e na mitigação das consequências associados a estes desastres naturais. Dessa forma, o estudo do comportamento da água e sua relação com a estabilidade de taludes é um dos principais

assuntos analisados nesta pesquisa. Na Figura 04, é possível observar um caso típico de deslizamento de terra em meio urbano.



**Figura 4** – Deslizamento de Terra em uma Zona Urbana do Espírito Santo (Santos, 2020).

### 2.3. Avaliação da Estabilidade de Encostas

A análise de estabilidade de taludes visa avaliar o risco de deslizamentos de terra por meio do estudo de atributos geométricos, topográficos, geotécnicos e hidráulicos da região. Essas características são avaliadas pelo Fator de Segurança (FS), que relaciona as forças atuantes e as forças de resistência do solo do talude, definindo o estado de tensões do maciço no momento da ruptura, momento no qual as forças atuantes são maiores ou iguais a de resistência do talude, caracterizando um FS menor ou igual a 1.

Assim, o fator de segurança é dado por:

$$FS = \frac{T_{resistência}}{T_{atuante}} \quad (1)$$

onde,

$T_{resistência}$  = forças de resistência do talude [N] e  $T_{atuante}$  = forças atuantes no talude [N].

Quando  $FS > 1$ , diz-se que a obra está estável.

Esse tipo de abordagem é do tipo determinística, pois estabelece um determinado valor para o FS. O Fator de segurança admissível ( $FS_{adm}$ ) de um projeto corresponde a um valor mínimo a ser atingido e varia em função do tipo de obra e vida útil do mesmo. A definição do  $FS_{adm}$  depende, entre outros fatores, das consequências de uma eventual ruptura em termos de perdas humanas e econômicas.

A qualificação do nível de segurança a ser atingido em cada talude pode ser determinada pela norma NBR 11682 (ABNT, 2008), que define o grau de segurança necessário a partir dos riscos relacionados a perdas humanas e materiais, considerando tanto as condições atuais do talude, como também o uso futuro da área, preservando o talude contra desmatamentos, cortes na base, infiltração excessiva e sobrecargas. As classificações dos níveis de segurança podem ser observadas nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1** - Nível de segurança desejado contra perdas humanas.

Nível de Segurança	Critérios
Alto	Área com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residências ou indústrias, estádios, praças e demais locais urbanos, ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso.
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

**Tabela 2** - Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.

Nível de Segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e área que afetem serviços essenciais. Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos.
Médio	Danos materiais: locais próximos a propriedades de valor moderado. Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: locais próximos a propriedades de valor reduzido. Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.

Assim, a norma NBR 11682 (ABNT, 2008) apresenta uma recomendação para os valores do fator de segurança admissível ( $FS_{adm}$ ), que leva em conta a classe de segurança definida pelas Tabelas 1 e 2. A norma ressalta também que, no caso de grandes variedades dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da referida tabela devem ser majorados em 10%. Os fatores de segurança mínimos para escorregamento definidos pela norma estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Fatores de segurança mínimos para escorregamentos.**

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível e segurança contra danos de vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Um aspecto fundamental que também deve ser observado nesta análise é que, independentemente da forma de estabelecer o grau de segurança de um talude, é sempre recomendável que além das investigações geotécnicas também seja realizada a instalação de uma instrumentação de campo, com o objetivo de acompanhar as variações pluviométricas da região, umidade do solo, a movimentação de massa e níveis piezométricos. Tal monitoramento deve ser realizado antes, durante e até mesmo após a execução de obras que envolvam a estabilização de taludes, para que com o acesso a essas informações, o projetista tenha condições de avaliar as premissas de projeto e/ou correções do modelo original.

#### **2.4. Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes**

De maneira geral, os métodos desenvolvidos para análise de estabilidade são baseados na Teoria do Equilíbrio Limite, relacionando as forças atuantes e resistentes do solo que compõe o talude. Assim, é possível determinar a estabilidade de um talude por meio da análise de equilíbrio de forças e/ou momentos. Com o desenvolvimento dos computadores, a implementação dos métodos de análise de estabilidade tornou-se mais viável, principalmente para aqueles que recorrem a formulações matemáticas mais elaboradas, exigindo um esforço de cálculo muito grande.

Os métodos mais comumente utilizados em diferentes ferramentas computacionais, como por exemplo o GeoStudio, SoilVision, Slide entre outros estão apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4** – Exemplos de métodos de análise de estabilidade de taludes.

<b>Método</b>	<b>Descrição</b>
<b>Fellenius</b>	O método de análise de estabilidade proposto por Fellenius, originalmente para estudar solos saturados, foi ampliado para outros solos e em condições de análise em tensões efetivas. Conforme Strauss (1998), no método são utilizadas fatias para determinar a distribuição da tensão normal na superfície de ruptura, importante para a análise com tensões efetivas.
<b>Bishop</b>	Este método proposto por Bishop considera a análise de um talude utilizando a divisão da cunha de escorregamentos em diversas fatias. Na realidade, representa uma modificação do método de Fellenius, levando em conta as reações entre as fatias vizinhas.
<b>Spencer</b>	É um método originalmente desenvolvido para superfícies de ruptura circulares, mas pode ser adaptado a uma superfície não circular com um centro de rotação fictício. (Nash, 1987).
<b>Janbu</b>	O método de Janbu avalia o fator de segurança para qualquer tipo de superfície de ruptura, satisfazendo as equações de equilíbrio de forças verticais e horizontais. Entretanto, despreza os esforços cisalhantes entre as fatias. (Janbu, 1968)

## 2.5. Influência da Água na Estabilidade de Encostas

A presença de água no solo é um dos fatores que mais interferem na estabilidade de taludes e pode se originar de diversas fontes. O ciclo hidrológico, sistema de circulação natural da água, que envolve processos de precipitação, evaporação e condensação é um dos principais fatores relacionados a variação de água no solo. Assim, existe uma relação inequívoca entre chuva e movimento de massa.

Tal relação se torna mais evidente em períodos de chuvas intensas, já que ocorre um aumento significativo das ocorrências de deslizamentos, como resultado do processo de

infiltração. Para relacionar de maneira correta estes fenômenos hidrológicos, alguns pontos importantes devem ser observados, como:

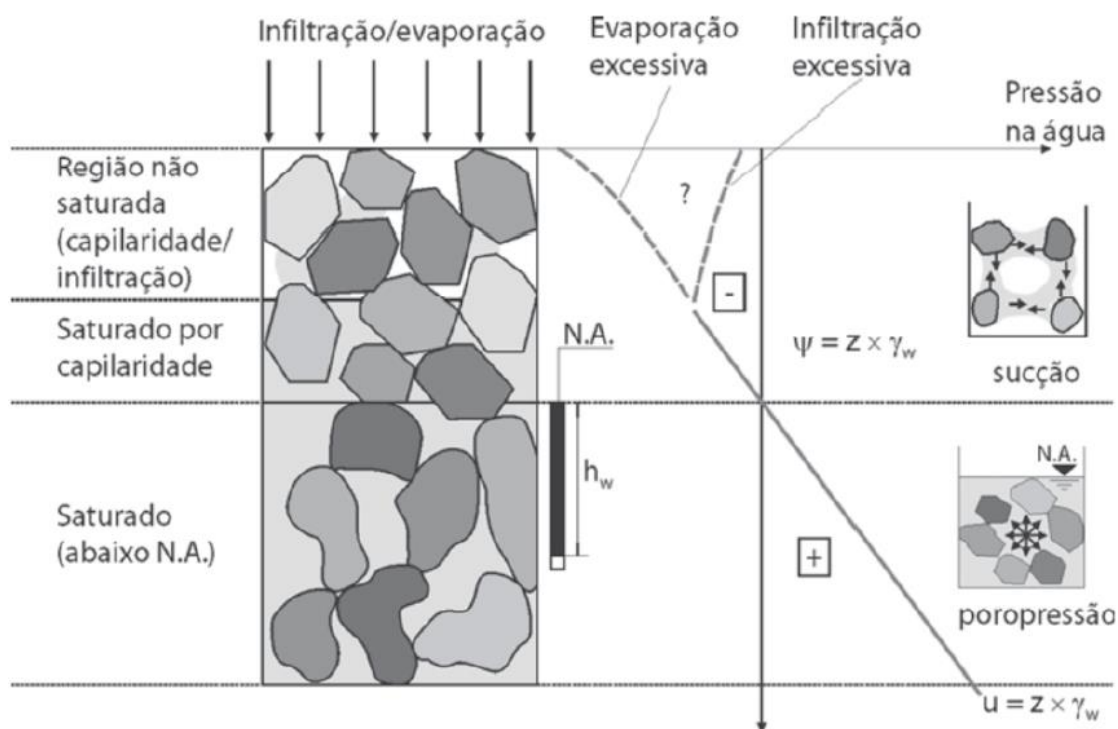
- O fluxo interno da água no solo continua a ocorrer mesmo após o término da chuva. Assim, é possível que a ruptura ocorra algum tempo depois do evento pluviométrico, em período sem chuva;
- A heterogeneidade do solo em regiões tropicais pode gerar processos de fluxos preferenciais;
- O horizonte de rocha fraturada atua como camada drenante, mantendo a condição não saturada, e/ou caminho de infiltração preferencial.

Em áreas urbanas, estes movimentos de terra podem causar enormes danos a sociedade, sejam eles materiais ou humanos. Assim, do ponto de vista da administração pública, existe a necessidade de se estabelecer algum critério de identificação dos limiares de chuva, capazes de deflagrar os movimentos de terra.

Com base nessa informação, surgem metodologias de gerenciamento, mais conhecidas como sistemas de alerta, a serem implantadas em áreas de encostas de forma a proteger a população. Estes sistemas requerem a instrumentação de campo que no mínimo forneçam em tempo real, as intensidades da chuva incidindo na superfície do terreno (pluviômetros ou pluviógrafos).

Diante de todo o processo de movimentação de água, um perfil de solo pode apresentar diferentes condições de umidade (figura 5). De forma geral, quando se identifica o nível de água no terreno, o perfil pode ser dividido em três zonas: não saturada, saturada por capilaridade; e saturada abaixo do nível d'água, onde as poropressões são positivas. Acima do nível d'água, poropressões são negativas e denominadas de sucção. Enquanto as pressões negativas atuam como agentes de atração de partículas, as pressões positivas tendem a afastar as partículas sólidas. Devido a esta configuração, na região não saturada, o solo ganha uma resistência adicional, cuja magnitude depende do valor da sucção.





**Figura 5** - Perfil de Poropressão (Gerscovich, 2016).

## 2.6. Parâmetros e Ensaios para Análise de Estabilidade

Conforme preconizado na norma NBR 11682 (ABNT, 2008), a caracterização geotécnica dos materiais que compõem a estratigrafia das encostas e os terrenos envolvidos deve englobar a seguinte caracterização do solo (Tabela 5).

**Tabela 5** - Caracterização do solo conforme a NBR 11682.

Características do solo	Norma de Ensaio
Umidade natural	NBR 16097:2012 - Determinação do teor de umidade
Granulometria	NBR 7181:2016 - Análise granulométrica
Limite de liquidez	NBR 6459:2016 - Determinação do limite de liquidez
Limites de plasticidade	NBR 7180:2016 - Determinação do limite de plasticidade
Resistência ao cisalhamento	NBR 12069:1991 - Ensaio de penetração de cone in situ (CPT) - Método de ensaio; NBR 10905:1989 - Ensaio de palheta in situ - Método de ensaio

## **2.7. Utilização do Arduino na Construção de Instrumentos de Baixo Custo**

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto baseada em *hardware* de fácil compreensão e acesso, destinada inicialmente a estudantes sem experiência em eletrônica e programação. A plataforma foi desenvolvida pela Ivrea Interaction Design Institute (IVREA - Instituto de Design de Interação) como uma ferramenta dinâmica para desenvolvimento de diversos circuitos. Estes circuitos podem ser utilizados para o controle de luzes, motores e outros atuadores, sendo que os projetos podem ser autônomos ou podem se comunicar com computadores (Oliveira, 2019).

O Arduino possibilita a interligação com diferentes módulos e sensores externos disponíveis no mercado, estas ligações viabilizam sua utilização no desenvolvimento de projetos de automação nas mais diversas áreas, seja veicular, industrial, residencial ou no caso específico deste trabalho, no monitoramento das chuvas e umidade do solo (Arduino.cc, 2017).

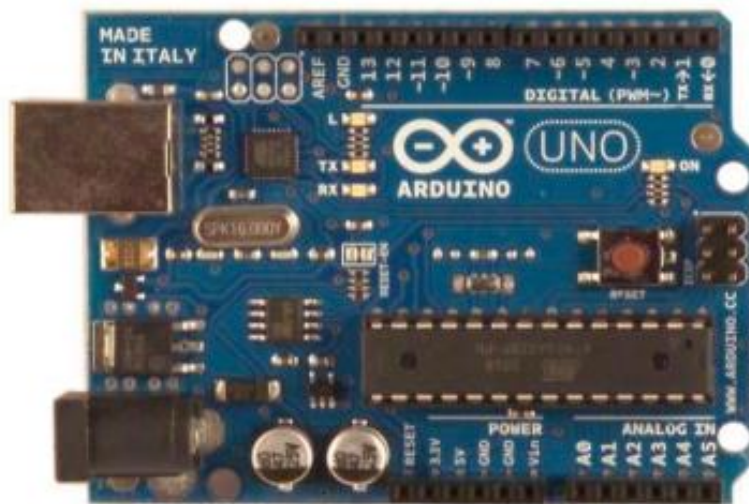
Dessa forma, o Arduino foi utilizado para o desenvolvimento da estação geometeorológica pois possui uma placa de prototipagem de baixo custo e de fácil acesso. A plataforma utiliza uma linguagem de programação baseada em C básico, já bastante difundida no meio acadêmico. Além disso, sua placa possibilita a conexão com a maioria dos sistemas operacionais disponíveis no mercado (Arduino.cc, 2017).

De modo geral, uma estação geometeorológica convencional possui um custo consideravelmente alto e, quando comparada com uma estação construída com Arduino, a diferença entre os valores torna-se bem significativa. A redução dos custos para produção foi um dos principais motivos para a escolha da plataforma, uma vez que um dos objetivos principais deste trabalho é possibilitar o acesso a este tipo de instrumentação mesmo nas regiões mais carentes, que geralmente são as mais afetadas. Segundo Torres (2015), estima-se que o custo de uma estação construída com Arduino chegue a 4% do valor de uma estação convencional.

Existem diferentes modelos de placas Arduino, entre eles o mais comum e utilizado neste projeto, o Arduino UNO R3, que pode ser facilmente encontrado no mercado. Esta placa possui 14 portas digitais e 6 portas analógicas. Memória flash de 32 kB, um micro

controlador ATmega328 com tensão de operação de 5 V e tensão de entrada de 7-12 V, (Thomsen, 2015). Esta placa pode ser observada pela figura 6.

Assim, com a utilização da placa Uno R3 e dos componentes de medição, foi possível desenvolver um código base para o funcionamento da estação geometeorológica. Como um dos objetivos da pesquisa é permitir o acesso a essa tecnologia, o código desenvolvido está comentado e disponibilizado gratuitamente nesse trabalho. De maneira geral, o código possui uma certa complexidade, mas com o auxílio dos comentários disponíveis no código e com as explicações do funcionamento e operação de cada sensor apresentados ao longo do trabalho, a estação geometeorológica poderá ser reproduzida com certa facilidade pelo leitor.



**Figura 6** - Placa UNO R3 (Rocha *et al.*, 2018).

### **2.7.1. Digital vs Analógico**

Como dito anteriormente, a placa Arduino Uno R3 possui tanto portas digitais quanto analógicas e ambas são utilizadas no desenvolvimento da estação geometeorológica. Dessa forma, é necessário entender a diferença e o funcionamento de cada uma delas.

Grandezas digitais são aquelas que não variam continuamente no tempo, mas sim em saltos entre valores bem definidos. Um exemplo são os relógios digitais: apesar do tempo em si variar continuamente, o visor do relógio mostra o tempo em saltos de um em um

segundo. Um relógio desse tipo nunca mostrará 12,5 segundos, pois, para ele, só existem 12 e 13 segundos. Qualquer valor intermediário não está definido.

Grandezas analógicas são aquelas que, ao contrário das grandezas digitais, variam continuamente dentro de uma faixa de valores. O velocímetro de um carro, por exemplo, pode ser considerado analógico, pois o ponteiro gira continuamente conforme o automóvel acelera ou trava. Se o ponteiro girasse em saltos, o velocímetro seria considerado digital.

Outra analogia interessante pode ser feita comparando uma escada com uma rampa: enquanto uma rampa sobe de forma contínua, assumindo todos os valores de altura entre a base e o topo, a escada sobe em saltos, com apenas alguns valores de altura definidos entre a base e o topo. A escada representa, portanto, uma grandeza digital, enquanto a rampa representa uma grandeza analógica.



**Figura 7** - Analogia Digital (Escada) x Analógico (Rampa).

Os circuitos e equipamentos elétricos ditos digitais trabalham com apenas dois valores de tensão definidos: Um nível lógico alto, que no caso do Arduino é 5V e um nível lógico baixo, que no caso do Arduino é 0V. Na prática, existem faixas de valores próximos a esses números em que o circuito digital entende como nível alto ou baixo. Também existe uma faixa intermediária não definida que pode gerar resultados inesperados e que, portanto, deve ser evitada. As placas Arduino possuem uma clara divisão entre os pinos de entrada e saída digitais/analógicos, porém em algumas placas como o Arduino Uno qualquer pino pode ser utilizado como entrada ou saída digital.

### **2.7.2. Características de uma Porta Digital (*pull-up e pull-down*)**

Quando se configura um pino como entrada digital ele apresentará uma característica chamada alta impedância. Isso significa que uma pequena corrente consegue fazer com que seu estado mude. Pode-se usar essa configuração, por exemplo, para ler botões,

fotoresistências entre outros componentes e a partir do estado lido ou das mudanças desses estados concluir o que está a acontecer no mundo externo e então tomar ações baseadas nessas medidas.

Caso o pino seja configurado como uma das entrada mas não estiver ligado a nada, seu estado poderá ser alterado aleatoriamente ao ser afetado pelo ruído elétrico do ambiente. Para evitar esse problema, deve-se utilizar uma resistência de *pull up* ou *pull down*. Essas resistências farão com que a tensão de entrada esteja bem definida mesmo quando a porta não estiver ligada a nada. No caso desta estação, os seguintes sensores foram conectados às portas digitais: anemômetro, biruta e pluviômetro.

### **2.7.3. Características de uma Porta Analógica**

Se observarmos um pouco, o mundo é quase todo formado por variáveis analógicas, como posição, temperatura e pressão, de forma que é necessário compreender o comportamento desses tipos de grandezas. O Arduino possui um conjunto de pinos destinados a serem utilizados como entradas analógicas e outros pinos que podem ser usados como saídas *PWM* (Pulse Width Modulation – Modulação por Largura de Pulso), que simulam uma saída analógica).

Como tudo no Arduino é processado de forma digital, é necessário converter as grandezas analógicas em digitais e vice-versa. Esses conversores já estão embutidos no Arduino, de forma que é necessário apenas que se compreenda o básico do processo de conversão para poder utilizar essas portas analógicas. De volta ao exemplo da escada e da rampa, a quantidade de degraus que temos em uma escada pode ser associada ao conceito de resolução. A resolução de um conversor indica o número de valores discretos (degraus) que ele pode produzir. Quanto mais intervalos conseguimos produzir mais perto do sinal analógico chegamos. A resolução de um conversor analógico digital e vice-versa é geralmente expressa em *bits*.

No caso da estação meteorológica, o indicador de direção do vento e os sensores de umidade foram conectados às portas analógicas.

## **2.8. Instrumentação em Campo para Avaliar a Estabilidade de Encostas**

Existem diferentes instrumentações que visam auxiliar a análise de estabilidade por meio do monitoramento de aspectos geotécnicos, hidrológicos e ambientais. Para o

desenvolvimento desta estação, os seguintes instrumentos foram selecionados: Pluviômetro, Biruta, Anemômetro e Sensor de Umidade do solo.

Cada componente da estação terá seu funcionamento explicado, assim como sua ligação e interação com a placa Arduino. A explanação é feita com o objetivo de promover um completo entendimento do leitor sobre cada parte do processo de montagem e funcionamento da estação, pois um dos intuitos da pesquisa é que a estação possa ser reproduzida e melhorada. Dessa forma, uma sugestão para uma melhoria significativa dos custos de montagem, seria a produção dos próprios sensores a partir das explicações aqui apresentadas.

Vale ressaltar que, devido ao custo de implantação e manutenção, estes instrumentos de monitoramento são muitas vezes negligenciados, principalmente em regiões com menos investimentos onde o crescimento desordenado da população é bem evidente. Dessa forma, mais uma vez mostra-se necessário que estes equipamentos e a estação geometeorológica sejam viáveis economicamente.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia proposta neste estudo visa desenvolver uma estação geometereológica de baixo custo para análise de estabilidade de taludes, utilizando a programação em Arduino. Assim, a pesquisa foi dividida em quatro fases, conforme a Figura 8.



**Figura 8** – Fases Metodológicas de Trabalho.

#### 3.1 Instrumentação Necessária

Para determinação dos instrumentos, foi necessário um estudo mais aprofundado da plataforma Arduino e dos sensores necessários para captação e armazenamento de dados referentes a análise de estabilidade. Assim, como o objetivo da pesquisa é produzir uma estação que forneça dados precisos e confiáveis, esta análise é essencial para a determinação dos materiais mais pertinentes para monitoramento das variáveis metereológicas e do teor de umidade do solo.

Durante a revisão bibliográfica, foram levantados os equipamentos utilizados para a análise de estabilidade de taludes. Contudo, alguns modelos de equipamentos foram evitados pois possuem um alto custo de implantação, manutenção e operação. Assim, optou-se pela escolha dos seguintes equipamentos para montagem da estação conforme a Tabela 6.

**Tabela 6** - Equipamentos da estação geometeorológica.

Equipamento	Função
Pluviômetro	Mede a quantidade de chuva que precipita no local.
Anemômetro	Mede a velocidade do vento.
Biruta Eletrônica	Mede a direção do vento.
Sensor de Umidade do Solo	Mede a umidade do solo a partir de sua resistência elétrica.
Placa Arduino Uno R3	Lê, processa e organiza os dados fornecidos pelos sensores
Placa Data Logger RTC	Marca os horários das leituras e possibilita o armazenamento dos dados no Cartão SD
Cartão de Memória	Armazena os dados
Fonte de Energia de 9V	Alimenta a Estação Geometeorológica

### 3.2. Pluviômetro

O Pluviômetro é um instrumento utilizado para medir a quantidade de precipitação de chuva do local em estiver instalado, fornecendo em milímetros (mm) a quantidade de chuva.

Os pluviômetros simples são baratos e podem ser instalados em diversos locais como jardins e plantações, tanto em ambientes urbanos como rurais, adequados para estações de observação, normalmente são desenvolvidos em acrílico ou outro material de maior dissipação de calor.



**Figura 9** - Pluviômetro Simples ou Pluviômetro Analógico (USANAINFO, 2022).



A dissipação de calor neste tipo de dispositivo é importante, pois evita a fácil evaporação do líquido, uma vez que não armazena os dados de maneira digital e precisa de observação humana, assim como precisa ser esvaziado a cada precipitação para ter um valor preciso a cada leitura.

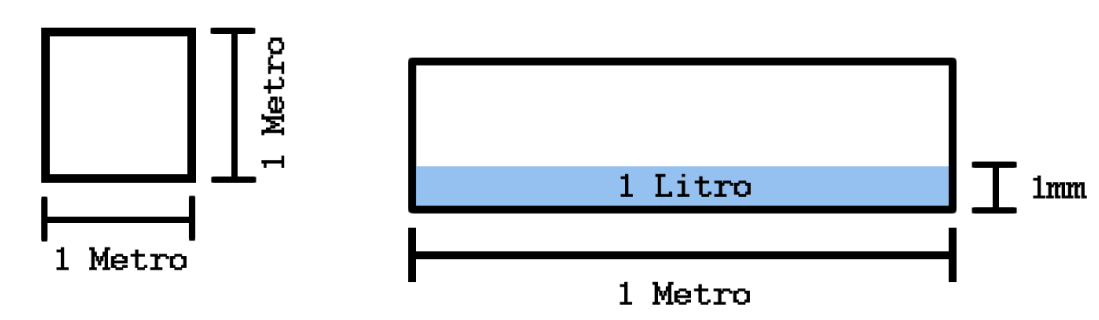
Para garantir uma leitura mais precisa a verificação pode ser realizada por meio de microcontroladores, existem modelos de Pluviômetros Digitais que registram dados continuamente através de básculas que possibilitam a contagem do número de vezes que ela se movimenta.



**Figura 10-** Pluviômetro Digital de Bâscula (USINAINFO, 2022).

Dentre suas aplicações, o Pluviômetro Digital está normalmente associado a estações meteorológicas e junto de diversos outros equipamentos como anemômetros e barômetros. Juntos, conseguem fazer um excelente trabalho de controle e análise.

No sistema internacional de medidas, a unidade de medida representativa da pluviosidade é o milímetro (mm), desta maneira, uma pluviosidade de 1 milímetro capturado pelo Pluviômetro equivale a um volume de 1 litro de água da chuva por metro quadrado.



**Figura 11-** Volume de Água por Metro Quadrado (USINAINFO, 2022)..

Realizar as medições e estabelecer um controle dos índices hídricos de uma dada região pode proporcionar a estimativa do potencial de fertilidade da terra, por exemplo, auxiliando na escolha e no controle de locais ideais para plantações que necessitam de chuva para uma safra de qualidade.

Ou, no caso específico desta estação, o monitoramento em tempo real da incidência de chuva permite um maior controle das zonas de risco de deslizamento.

### 3.2.1. Volume de Água por Milímetro

Saber calcular o volume de chuva é um processo que envolve conceitos de geometria espacial e plana, uma vez que o volume de água em mm é calculado de acordo com o tamanho do recipiente de captação.

Em um local onde choveu 10mm, por exemplo, quer dizer que em uma área de 1m<sup>2</sup> choveu o equivalente a uma lâmina de água de 10mm de altura. Assim, para converter este valor em metros cúbicos utilizamos a seguinte fórmula:

$$\text{Volume} = \text{Área da base} * \text{Altura da lâmina}$$

$$\text{Volume} = 1 * 0,01$$

$$\text{Volume} = 0,01\text{m}^3 = 10 \text{ litros}$$

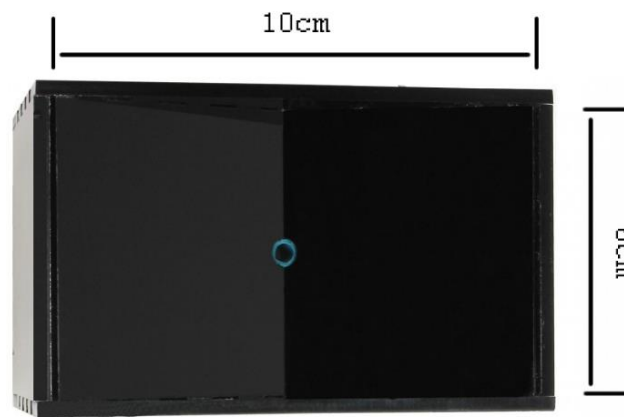
Na resolução acima, podemos ver que o valor da altura da lâmina não é de 10, mas sim de 0,01, isto ocorre devido ao fato de que precisamos utilizar a mesma unidade de medida para todas as variáveis. Dessa forma, 10 mm convertido em metros é igual a 0,01.

Ao final do cálculo conseguimos verificar que em 1m<sup>2</sup>, 10mm de chuva correspondem a um volume total de 10 litros, ou seja, se em um metro quadrado for despejado 10 litros de água, a altura da lâmina d'água será de 10mm.

### 3.2.2. Sistema de Medida do Pluviômetro Digital

O segredo de funcionamento dos Pluviômetro Digitais está nos números de pulsos que os mesmos dão e o quanto representa em milímetros cada um destes pulsos. Para entender como funciona este sistema, será utilizado como base, o Pluviômetro Arduino.

O primeiro passo necessário é conhecer as unidades de medida necessária para o cálculo, como queremos saber a quantia de pulsos por milímetro, a altura da lâmina será de 1mm, enquanto que a área da base será calculada de acordo com as medidas do coletor:



**Figura 12** - Medidas do Coletor do Pluviômetro Arduino (USINAINFO, 2022).

Tendo as medidas da base do coletor, calculamos a sua área e multiplicamos pela altura da lâmina, porém como já visto anteriormente, para o cálculo dar certo, ambas as medidas devem ser expressas na mesma unidade, ou seja, ao invés de usarmos 1 mm, utilizaremos 0,1cm.

$$\text{Volume} = \text{Área da base} * \text{Altura da lâmina}$$

$$\text{Volume} = (6 * 10) * 0,1$$

$$\text{Volume} = 6\text{cm}^3 = 6\text{ml}$$

Como cada unidade de centímetro cúbico corresponde a 1ml, para conseguimos a marca de 1mm no Pluviômetro Digital, é necessário que caia sobre sua superfície um total de 6ml.

Com o auxílio de um material de medição pode-se realizar o teste de movimentações da balança e por meio do mesmo observar que ao aplicar 6ml de água a mesma movimentar-se por duas vezes, ou seja, cada movimento da mesma representa 0,5mm.

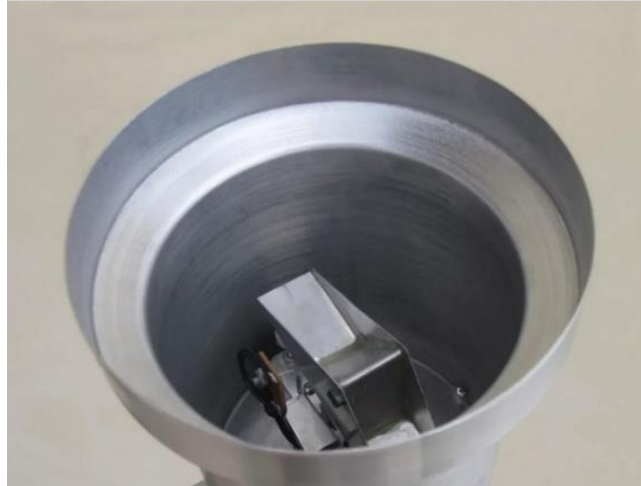
### 3.2.3. Pluviômetro Arduino de Alumínio

O Pluviômetro Arduino desenvolvido em Alumínio é uma versão mais robusta e ideal para o modelo da estação, pois seu corpo apresenta maior resistência a instalações externas e também melhores adaptação em ambientes diversos.



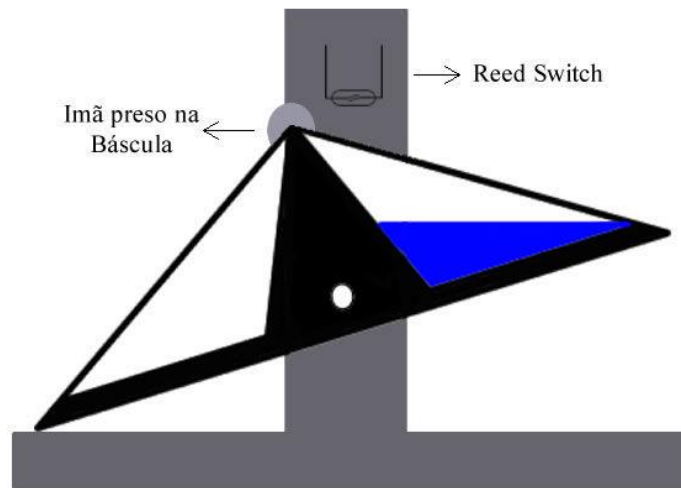
**Figura 13** - Pluviômetro Arduino de Alumínio (USINAINFO, 2022).

Internamente este modelo de Pluviômetro possui um *Reed Switch* para detectar a movimentação da gangorra, gerando um pulso a cada deslocamento da Balança, lembrando que um *Reed Switch* nada mais é que um interruptor de lâmina com duas lâminas flexíveis separadas e hermeticamente seladas dentro de um tubo de vidro com atmosfera interna inerte.



**Figura 14** - Sistema Interno de Funcionamento do Pluviômetro em Alumínio (USINAINFO, 2022).

Sempre que um campo magnético exerce algum tipo de influência próximo ao Reed Switch, a ação do mesmo faz com que as lâminas deste sensor se magnetizem e com isto se unam fechando um contato elétrico e possibilitando a passagem de corrente que gera um pulso para o Arduino e possibilita identificar o movimento.



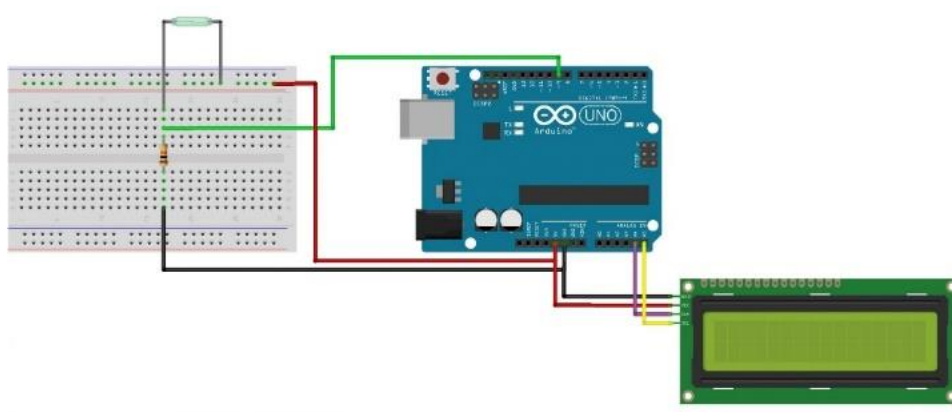
**Figura 15**- Ilustração do Sistema de Funcionamento das Bâsculas (USINAINFO, 2022).

Como podemos observar na figura 15, o funcionamento do Pluviômetro Arduino é extremamente simples, junto à Bâscula é conectado um ímã que cada vez que passa pelo reed switch manda um pulso para o Arduino e o mesmo soma 0,25 mm à contagem.

### 3.2.4. Esquema de Ligação do Pluviômetro

A montagem física do projeto é bem simples já que trabalha com somente dois fios para detecção magnética e um Arduino, o único detalhe que deve ser destacado para a instalação é a utilização de um resistor em *Pull Down* de 10 Quilo-Ohms conectado diretamente ao pino D9 do Arduino em conjunto com os demais pinos de alimentação.

O esquema de ligação utilizado para conectar o equipamento junto ao Arduino está representado pela figura 16.



**Figura 16** - Esquema de Ligação do Projeto Pluviômetro Arduino (USINAINFO, 2022).

Vale ressaltar que o local de instalação deve ser uma área livre de obstáculos, não é permitido instalar o Pluviômetro embaixo de áreas cobertas, árvores ou objetos que possam interferir na captação.

### 3.3. Anemômetro Arduino

Os ventos são gerados por meio do aquecimento não uniforme da superfície terrestre e o seu deslocamento origina diversos efeitos que podem acarretar mudanças no dimensionamento de estruturas urbanas, industriais e rurais, além de impactar no meio ambiente. Assim, realizar a verificação e controle das rajadas de vento e sua velocidade, pode proporcionar a estimativa do potencial eólico de uma região e evitar possíveis acidentes causados por fortes ventos.

Para conseguir medir a velocidade do vento são utilizados instrumentos meteorológicos conhecidos como anemômetros, eles possuem em seu corpo conchas ou pás conectadas a um eixo que gira ao identificar uma rajada de vento, quanto mais voltas ele der no mesmo intervalo de tempo, maior será a velocidade do vento.

Neste caso específico, o anemômetro Arduino utilizado possui internamente um *Reed Switch* para detectar a velocidade do vento, este equipamento é um interruptor de lâmina com duas lâminas flexíveis separadas e hermeticamente seladas dentro de um tubo de vidro com atmosfera interna inerte.

Sempre que um campo magnético exerce algum tipo de influência próximo ao Reed Switch, a ação do mesmo faz com que as lâminas deste sensor se magnetizem e com isto se unam fechando um contato elétrico e possibilitando a passagem de corrente, corrente a qual gera um pulso para o Arduino e possibilita a medição da velocidade.

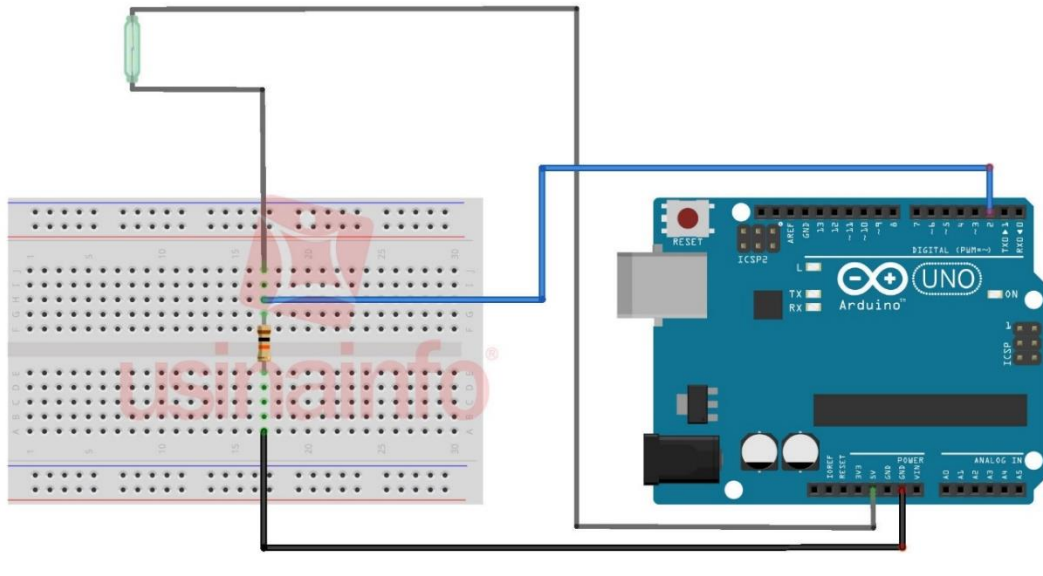


**Figura 17** – Funcionamento da Porta Reed Switch do Anemômetro (USINAINFO, 2022).

Como podemos observar na imagem acima, o seu funcionamento é extremamente simples, junto ao eixo de rotação é conectado um ímã que cada vez que passa pelo reed switch manda um pulso para o Arduino e o mesmo realiza a conversão necessária para exibir a velocidade do vento. Basicamente, pode-se medir a quantidade pulsos por segundo e cada pulso corresponde a um giro completo. Com esses dados, é possível determinar a velocidade do vento.

### 3.3.1. Montagem Física (Hardware)

A montagem física do Anemômetro Arduino também é bem simples, já que trabalha somente com dois fios do anemômetro e um Arduino, o único detalhe que deve ser observado para a instalação é a utilização de um resistor em Pull Down de 10 Quilo-Ohms conectado diretamente ao pino digital 2 em um dos fios do sensor. Além disso, uma fonte de energia de 5V que pode ser o próprio pino VCC do Arduino no outro fio.



**Figura 18** - Esquema de Ligação do Anemômetro (USINAINFO, 2022).

Devido ao formato do anemômetro, outro ponto a ser considerado durante a instalação é o correto posicionamento do mesmo. O anemômetro precisa ser instalado no sentido horizontal com as conchas o mais linearmente possível.

Assim, podemos observar o quão fácil e simples é a sua montagem de Hardware e seu funcionamento, contando com apenas dois fios, o Sensor de velocidade do vento garante que cada volta dada pelo equipamento ponha em curto ambas as extremidades do fio e gere um sinal para o Arduino, que o identifica e converte.



### 3.4. Indicador de Direção do Vento – Biruta

O indicador de direção do vento possibilita aferir as variações de movimento do ar em relação a superfície terrestre, uma vez que acompanha o sentido dos fluxos de ar resultantes das variações de pressão e temperatura do ambiente. Este dado também é muito importante para se entender fenômenos físicos que podem influenciar na interpretação de dados meteorológicos, principalmente ao se avaliar as variações de comportamento entre as estações do ano.

Este sensor possui um sistema de verificação que se baseia na variação da sua resistência para indicar à qual direção o vento sopra. Basicamente, cada direção está diretamente associada ao resistor com um valor diferente, conforme o indicador gira o resistor utilizado para fechamento do circuito é alterado. Dessa forma, cada resistor resulta em uma tensão de operação diferente e esta tensão é associada a uma direção. Esta relação pode ser melhor entendida a partir da representação da figura a seguir.



**Figura 19** - Módulo de Funcionamento do Indicador de Direção do Vento (USINAINFO, 2022).

A relação utilizada neste projeto que associa os valores de tensão e resistência a uma direção pode ser observada na tabela a seguir

**Tabela 7** - Relação da resistência e direção do vento.

Resistência (Ohm)	Tensão (V)	Direção do Indicador
10k	1,59	0º
20k	0,94	45º
30k	0,66	90º
40k	0,51	135º
50k	0,42	180º
60k	0,35	225º
70k	0,30	270º
80k	0,26	315º

### 3.4.1. Esquema do Indicador de Direção do Vento – Biruta

Uma vez que a determinação da direção do vento depende da da variação de tensão lida pelo equipamento, a porta utilizada pelo Arduino deverá ser do tipo analógica para possibilitar a correta leitura destas informações. Como observado na figura 20, o sensor possui apenas dois fios de forma que um deles deve ser ligado ao ponto de alimentação de 5V e o outro a um resistor *pull-down* de 4k7 Ohms.



**Figura 20** - Representação Biruta Arduino (USINAINFO, 2022).

### 3.5. Sensor de Umidade do Solo

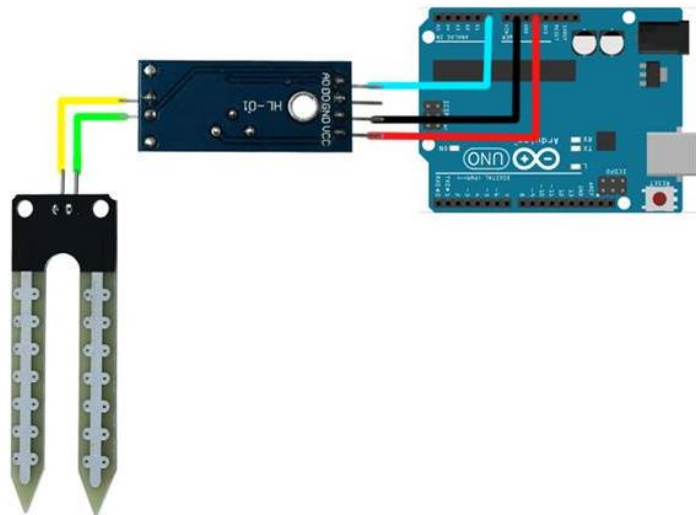
O sensor de umidade do solo, como o próprio nome sugere, é capaz de medir a umidade do solo em determinado local, atuando em conjunto com placas microcontroladoras, entre elas o Arduino.

Esse sensor é do tipo resistivo, composto por duas hastes metálicas que simulam dois eletrodos. O sensor mede uma diferença de potencial no meio, que é associada a uma medida de resistividade elétrica. Ela é traduzida pelo microcontrolador Arduino para uma medida adimensional em *Binary Digit (bit)*. Assim, quanto maior a umidade do solo menor é sua resistividade elétrica e menor é o *bit* medido.

Este sensor já é amplamente utilizado com microcontroladores, monitorando o nível de umidade da terra no local em que está instalado. Assim, pode auxiliar no monitoramento das zonas de umidade presentes no talude.

#### 3.5.1. Esquema de Ligação Sensor de Umidade do Solo

Como a medição da umidade do solo depende da leitura da variação de resistência lida pelo equipamento, a porta utilizada pelo Arduino deverá ser do tipo analógica para possibilitar a correta leitura destas informações. As ligações de componentes seguem a ordem apresentada na figura 21.



**Figura 21** - Esquemático Projeto Sensor de Umidade do Solo Arduino (USINAINFO, 2022).

### 3.6. *Shield Data Logger Arduino com RTC DS1307*

Como uma das premissas para o monitoramento é o registro em tempo real de atuação e medição dos sensores, vê-se a necessidade de um mecanismo que possa funcionar como relógio marcando o tempo exato de cada leitura dos dados e que possa não só se comunicar com a placa Arduino, mas também permitir o armazenamento das informações obtidas.

Assim, após pesquisa sobre quais componentes utilizar e qual teria o melhor custo benefício, optou-se por utilizar um RTC (*Real Time Clock*) que possui um *data logger* acoplado (equipamento que permite o armazenamento dos dados em um cartão SD). Este modelo foi escolhido pois, se torna mais econômico quando comparado a compra destes componentes de maneira separada.

Além disso, por possuir uma placa com exatamente as mesmas dimensões da placa Arduino, facilita bastante o processo de montagem, já que uma pode ser “encaixada” sobre a outra. Assim, o modelo *Shield Data Logger Arduino com RTC DS1307* foi adotado para montagem da estação. Este modelo está apresentado na figura 22.



**Figura 22-** Placa RTC e *DataLogger*.

### **3.7. Fonte de Alimentação – 9V**

Por fim, mas não menos importante, foi preciso definir uma fonte alimentação de energia para esta Estação. A placa Arduino pode receber uma alimentação externa entre 7V e 12V, sendo que em valores acima de 12V a placa pode não suportar a tensão se queimar e abaixo dos 7V o funcionamento pode não ocorrer da forma correta. Assim, optamos por uma fonte de 9V por ser de fácil comercialização e possuir um preço acessível.



**Figura 23** - Fonte de Alimentação 9V.

Outras opções que também poderiam ter sido utilizadas para alimentação são as baterias de lítio. No entanto, devido as características de funcionamento da estação, a bateria deve ser um tanto robusta para garantir a alimentação por vários dias. Uma sugestão de adaptação é a adoção de baterias automobilísticas.

Esta observação serve para reforçar que a estação poderá possuir outras fontes de energia diferentes da utilizada, desde que respeite os limites de tensão aqui comentados.

### **3.8. Construção da Estação Geometeorológica**

#### **3.8.1. Integração dos Códigos Fontes**

O correto funcionamento da estação da estação depende de uma combinação entre os esquemas de ligações dos componentes e os códigos fontes de cada sensor. Dessa forma, é necessário desenvolver a integração tanto da linguagem de programação quanto das ligações físicas de cada sensor.

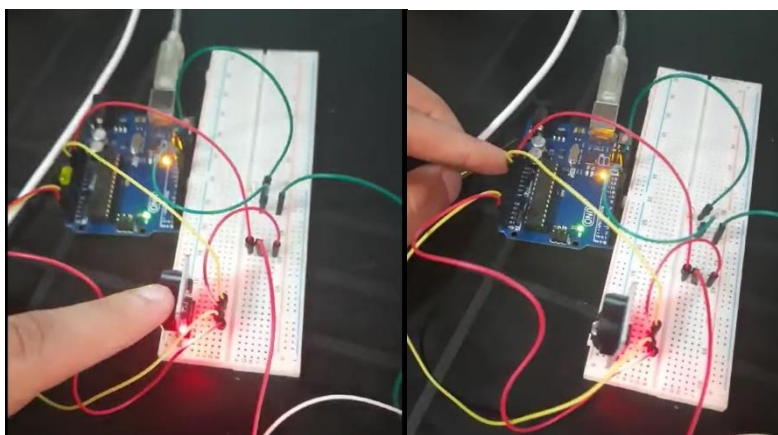
Esta foi uma das partes mais desafiadoras do trabalho, pois necessitou de um estudo aprofundado da linguagem de programação Arduino e do funcionamento de cada sensor no que se refere a sua comunicação com a placa Uno R3. Assim, como o objetivo da pesquisa é facilitar o desenvolvimento de novas estações que sigam o mesmo caminho ou similares, o código está disponível para download já em linguagem Arduino no *link* a seguir:

<https://drive.google.com/drive/folders/1ciEnjvBbXR0-5WGI0uAZIBhwpsJ8ll5Y>.

### 3.2.2. Integração dos componentes da Estação Geometeorológica

Inicialmente, os sensores foram ligados ao Arduino por meio de uma placa do tipo *proto-board*, com o auxílio de *jumpers*. Esta placa é muito utilizada para o desenvolvimento de circuitos elétricos e de prototipagem pois permite trabalhar com diferentes esquemas de ligações e, assim, realizar testes durante o desenvolvimento dos protótipos. Este processo de utilização da placa *proto-board* pode ser observado na figura 24.

Dessa forma, com base no esquema de ligação de cada sensor apresentado no item 3.1 deste trabalho, foi possível testar o funcionamento dos sensores em conjunto e confirmar seu correto funcionamento antes de partir para o processo de solda dos componentes.



**Figura 24** - Montagem Preliminar com a Placa *Proto-board*.

Além disso, como a estação geometeorológica deve suportar diferentes condições climáticas, todos os fios utilizados no projeto foram encapados com fita isolante para garantir uma maior resistência as variações de temperatura e a presença de água. Assim, após a aprovação da montagem preliminar, foi possível partir para a fase de solda dos



componentes, que substitui a placa *proto-board* por uma placa de circuito definitiva, conforme apresentado na figura 25.

Para obter um maior número de dados durante o processo de validação da estação, o sistema foi de certa forma duplicado. Ao todo, a estação geometeorológica irá possuir quatro tipos diferentes de sensores, duas placas *Arduino uno R3*, dois *data logger RTC DS1307*, dois cartões de memória e duas fontes de energia de 9V para alimentação. Isso ocorre, pois existe um número limitado de 6 portas analógicas na placa *Arduino UNO R3*.

Assim, como cada sensor de umidade utiliza uma das portas analógicas, optamos por duplicar o sistema para possuir um maior número de dados durante o ensaio. No entanto, caso o número de portas analógicas não seja um problema, a duplicação não é necessária.



**Figura 25** - Processo de Solda dos Componentes da Estação Geometeorológica.

Com os sensores devidamente soldados, é necessário utilizar algum tipo de recipiente que possa proteger as placas do contato direto com a água. Neste caso, optou-se por utilizar uma vasilha com tampa plástica, realizando pequenos cortes em suas laterais para possibilitar a entrada e saída dos fios que estão ligados as placas. Após a passagem destes fios, os cortes foram selados com fita isolante e, para garantir um nível a mais de

segurança, foi utilizada uma sacola plástica para reforçar a proteção contra a água. O processo pode ser observado na figura 26.



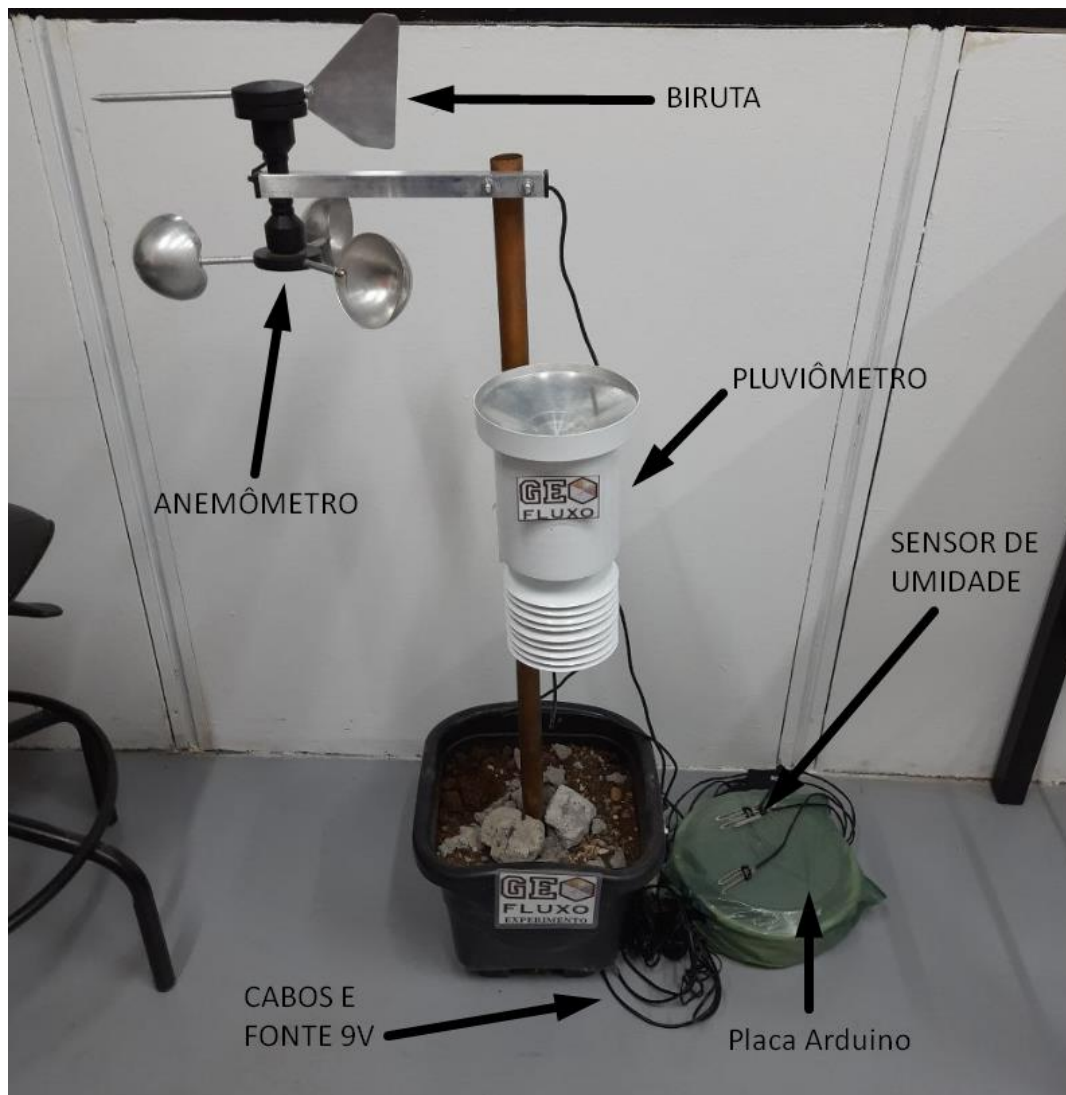
**Figura 26 - Caixa para Armazenamento Adaptada.**

### **3.8.2. Concepção Geral**

Com os equipamentos definidos, foi necessário partir para construção da estação geometeorológica. Para isso, os sensores são ligados a placa Arduino e fixados em uma haste de metal que servirá de apoio para os equipamentos, facilitando a instalação e locomoção da estação como um conjunto sólido. Os sensores responsáveis pelos dados meteorológicos ficam no topo da haste para facilitar a captação dos dados estação meteorológicos, enquanto que os sensores de umidade ficam localizados na parte inferior da haste, já próximos da base da estação e do solo. A concepção geral da estação pode ser observada com o auxílio da figura 27.

As informações medidas pelos sensores são transferidas para o Arduino que processa os dados e os armazena em um cartão de memória SD externo. Esta comunicação entre os sensores e o Arduino é o que viabiliza a automatização do equipamento, de modo que possibilita a captação e análise dos dados fornecidos pelos sensores, podendo inclusive ser acoplado a um sistema de alarme de emergência, caso haja a possibilidade de deslizamento. Dessa forma, o equipamento mostra sua relevância tanto em análises a longo prazo quanto em tempo real, evitando diversos problemas que podem surgir devido aos deslizamentos de terra.





**Figura 27** – Concepção Geral.

Dessa forma, a estação geometeorológica poderá auxiliar no monitoramento de taludes, pois capta as variações dos valores de precipitação e umidade do solo em tempo real. Como já foi discutido na revisão bibliográfica, a água é um dos principais fatores que contribuem para a ocorrência dos deslizamentos de terra no Brasil e, na grande maioria das vezes, estes eventos ocorrem durante os períodos chuvosos.

Assim, o monitoramento pode ser realizado a partir da determinação de zonas de umidade e precipitação críticas que ao serem atingidos podem comprometer a estabilidade do talude. Portanto, a estação geometeorológica permite avaliar se os dados lidos estão ou não próximos destas zonas críticas. Além disso, a estação fornece dados meteorológicos que podem ser utilizados para dimensionamentos e estudos não só no campo da

engenharia civil, mas também de outras áreas como a engenharia ambiental e a agronomia.

### **3.9. Coleta de Dados com a Estação Geometeorológica**

Com o objetivo de simular eventos de precipitação e atestar o funcionamento da estação geometeorológica, o Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília foi utilizado para a realização de alguns ensaios durante o período de pesquisa. Esta simulação foi necessária pois o período chuvoso da região não coincidiu com a finalização da pesquisa.



**Figura 28** - Ensaio para Verificação da estação Geometeorológica.

Assim, para conseguir simular da maneira mais real possível os eventos de chuva, foi utilizado um equipamento já disponível no Laboratório de Geotecnia da UnB que promove uma chuva artificial uniforme, o simulador de chuva utilizado foi do tipo aspersor. Este simulador é formado, basicamente, por um reservatório, uma bomba hidráulica e uma sequência de tubos e registros que direcionam a água do reservatório até suas extremidades.

Além disso, foi construído um talude em escala reduzida onde os sensores de umidade foram instalados. O modelo reduzido e os demais sensores da estação foram colocados embaixo do equipamento de chuva artificial para realização do ensaio. Para simular as variações de direção e velocidade do vento, um ventilador foi acoplado ao sistema. O registro fotográfico do ensaio está representado nas figuras 28 e 29.



**Figura 29** - Ensaio para Verificação da Estação Geometeorológica.

O ensaio ocorreu no dia 23 de abril de 2022 durante o período da manhã, mais precisamente entre às 8h e 12h. Neste intervalo de tempo, foi possível simular diferentes

eventos de precipitação e coletar dados suficientes para poder comprovar a funcionalidade do modelo da Estação.

Os eventos de precipitação foram realizados de maneira aleatória em períodos curtos de 5 e 10 minutos, de modo que se pudesse observar o funcionamento da estação geometeorológica antes, durante e após as simulações. Assim, os dados obtidos durante o ensaio foram armazenados por um cartão memória externa do tipo SD, em formato CSV. Vale ressaltar que este tipo de arquivo pode ser aberto tanto pelo Bloco de Notas quanto pelo Excel, o que facilita as possíveis análises dos dados.

Assim, apesar do ensaio ter sido feito em um ambiente controlado e não com uma chuva real, foi possível aferir o funcionamento da estação geometeorológica a partir das medições dos sensores que monitoram as variações climatológicas e do estado do solo.

## 4. ANÁLISE DE DADOS

### 4.1. Verificação do Funcionamento da Estação Geometeorológica

Com os dados obtidos durante o período do ensaio, foi possível observar que todos os sensores funcionaram e tiveram seus dados armazenados com sucesso no arquivo CSV. Um dos cuidados tomados durante o desenvolvimento do código e posterior montagem, foi a observação de possíveis “pulsos falsos” que podem ocorrer por diferentes motivos. Por exemplo, uma dupla contagem durante um pulso ou a variação de tensão em uma das portas digitais utilizadas pelos sensores. Todos esses pontos foram considerados durante o desenvolvimento da estação de forma que nenhum “pulso falso” ocorreu neste ensaio.

Para demonstrar como os dados são fornecidos pelo arquivo CSV, as Figura 30 e 31 apresentam os arquivos resultantes do ensaio. Vale lembrar, que devido a duplicação do sistema, dois cartões de memória também foram utilizados, um pra cada placa Arduino. Este formato pode ser facilmente alterado por meio de modificações do código base.

B	C	D	E	F	G	H	I	J
PluviômetroGeofluxo	Teste	1						
Data	Hora	Pulso	Chuva		S1	S2	S3	S4
23/04/2022	09:55:39	0	0 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:40	0	0 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:41	0	0 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:42	0	0 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:43	0	0 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:44	0	0 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:45	0	0 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:46	0	0 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:47	0	0 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:48	1	0,25 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:49	1	0,25 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:50	2	0,5 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:51	1	0,25 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:52	2	0,5 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:53	1	0,25 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:54	2	0,5 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:55	1	0,25 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:56	1	0,25 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:57	1	0,25 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:58	0	0 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:55:59	1	0,25 mm		592	578	548	588
23/04/2022	09:56:00	0	0 mm		592	578	548	588

**Figura 30** - Dados do Pluviômetro e dos Sensores de Umidade.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Sensores Geofluxo Teste 1								
Data	Hora	Angulo:		RPM:	Vel. Vento:			
23/04/2022	09:44:08	180	Graus	24	0.74	[m/s]	2.66	[km/h]
23/04/2022	09:44:16	45	Graus	72	2.22	[m/s]	7.98	[km/h]
23/04/2022	09:44:24	180	Graus	48	1.48	[m/s]	5.32	[km/h]
23/04/2022	09:44:33	180	Graus	0	0.00	[m/s]	0.00	[km/h]
23/04/2022	09:44:41	90	Graus	72	2.22	[m/s]	7.98	[km/h]
23/04/2022	09:44:49	45	Graus	96	2.96	[m/s]	10.64	[km/h]
23/04/2022	09:44:57	180	Graus	24	0.74	[m/s]	2.66	[km/h]
23/04/2022	09:45:05	180	Graus	24	0.74	[m/s]	2.66	[km/h]
23/04/2022	09:45:13	90	Graus	120	3.69	[m/s]	13.30	[km/h]
23/04/2022	09:45:21	90	Graus	96	2.96	[m/s]	10.64	[km/h]
23/04/2022	09:45:29	135	Graus	48	1.48	[m/s]	5.32	[km/h]
23/04/2022	09:45:38	180	Graus	48	1.48	[m/s]	5.32	[km/h]
23/04/2022	09:45:46	0	Graus	120	3.69	[m/s]	13.30	[km/h]
23/04/2022	09:45:54	90	Graus	72	2.22	[m/s]	7.98	[km/h]
23/04/2022	09:46:02	180	Graus	24	0.74	[m/s]	2.66	[km/h]
23/04/2022	09:46:10	135	Graus	48	1.48	[m/s]	5.32	[km/h]
23/04/2022	09:46:18	90	Graus	144	4.43	[m/s]	15.96	[km/h]
23/04/2022	09:46:26	135	Graus	96	2.96	[m/s]	10.64	[km/h]
23/04/2022	09:46:34	180	Graus	24	0.74	[m/s]	2.66	[km/h]
23/04/2022	09:46:42	135	Graus	96	2.96	[m/s]	10.64	[km/h]

**Figura 31** - Dados dos Sensores (Anemômetro e biruta).

## 4.2. Análise Gráfica com o Wolfram Mathematica

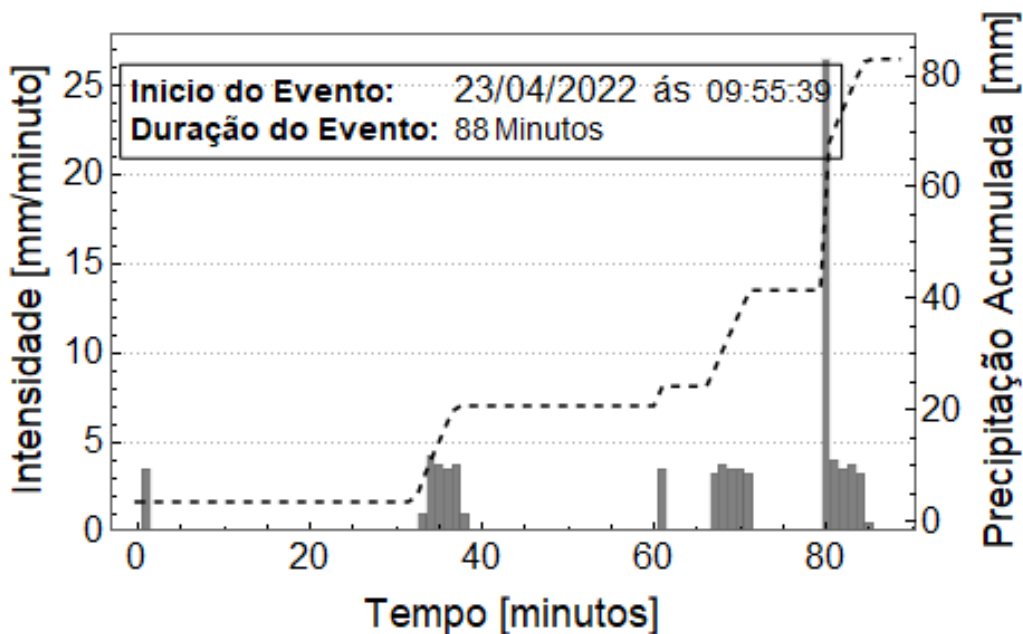
Com posse dessas informações, foi possível realizar uma análise gráfica com o auxílio do *software* Wolfram Mathematica. Também conhecido apenas como Mathematica, este é um programa de computador, criado por Stephen Wolfram, desenvolvido pela empresa Wolfram Research, localizada em Champaign (Illinois), que implementa um sistema de álgebra computacional. O *software* contém diversas bibliotecas de programação prontas para serem usadas para diversos fins em várias áreas das ciências exatas. Dessa forma, foi possível analisar os dados de cada sensor graficamente. Os resultados obtidos estão apresentados a seguir.

### 4.2.1. Dados de chuva obtidos pelo pluviômetro - Arduino

A análise gráfica dos dados pluviométricos foi feita por meio da construção de um Hietograma com os dados obtidos no ensaio. O Hietograma é formado pelo registro gráfico da precipitação durante um determinado período de tempo (no eixo y ficam as intensidades e no eixo x, o tempo). Estando ajustadas as unidades ([i]=mm/min e [t]=min), a área desse gráfico representa a precipitação total em mm. Assim, a partir dos dados coletados, obteve-se os gráficos apresentados nas Figuras 32 e 33.



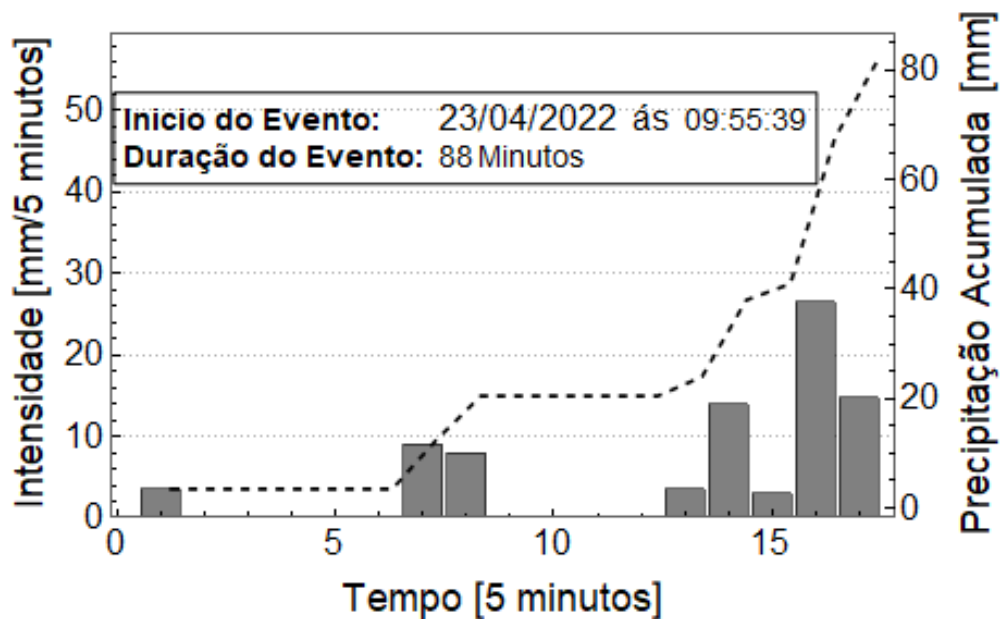
A figura 32 apresenta um hietograma completo onde pode-se observar as variações dos valores de intensidade da chuva durante o intervalo de tempo do ensaio. Este intervalo refere-se ao período entre o início da primeira simulação de precipitação e o fim da última. Como pode-se observar, a simulação teve seu início às 09:55 a.m. e seu fim 88 minutos depois, às 11:23 a.m. A precipitação acumulada também pode ser observada neste gráfico pela linha tracejada, seus valores estão apresentados do lado direito da figura 32.



**Figura 32** - Hietograma Completo do Ensaio.

Para uma melhor observação dos dados obtidos, já que as simulações ocorreram em um tempo relativamente reduzido, um segundo hietograma também foi criado com um intervalo de tempo fracionado a cada 5 minutos. Esta resolução se mostrou bem apropriada, como pode-se observar na figura 33.

Assim, apesar de os valores encontrados serem considerados altos para um intervalo tão curto de tempo, esta extrapolação foi proposital pois visava captar o maior número de dados possíveis durante o ensaio. Desta maneira, o pluviômetro se mostrou muito eficaz para sua atuação no monitoramento de eventos de chuva.



**Figura 33** - Hietograma com Intervalo de 5 min.

#### 4.2.2. Dados de umidade do solo obtidos pelos sensores de umidade - Arduino

A partir dos dados coletados pelos sensores de umidade durante o ensaio, foi possível associar os valores lidos com o teor de umidade do solo. Essa relação pôde ser determinada com base nas Tabela 8 que associam os valores lidos em *bits* do sensor de umidade ao nível de umidade do solo.

**Tabela 8** - Relação entre *bits*, teor de umidade volumétrico e o grau de saturação.

Faixas	bits (adm)		$\theta$ (%)		Sr(%)	
	Máx	Mín	Início	Fim	Início	Fim
1	1023	815	1	8	3	17
2	815	718	8	16	17	35
3	718	501	16	28	35	61
4	501	375	28	44	61	94

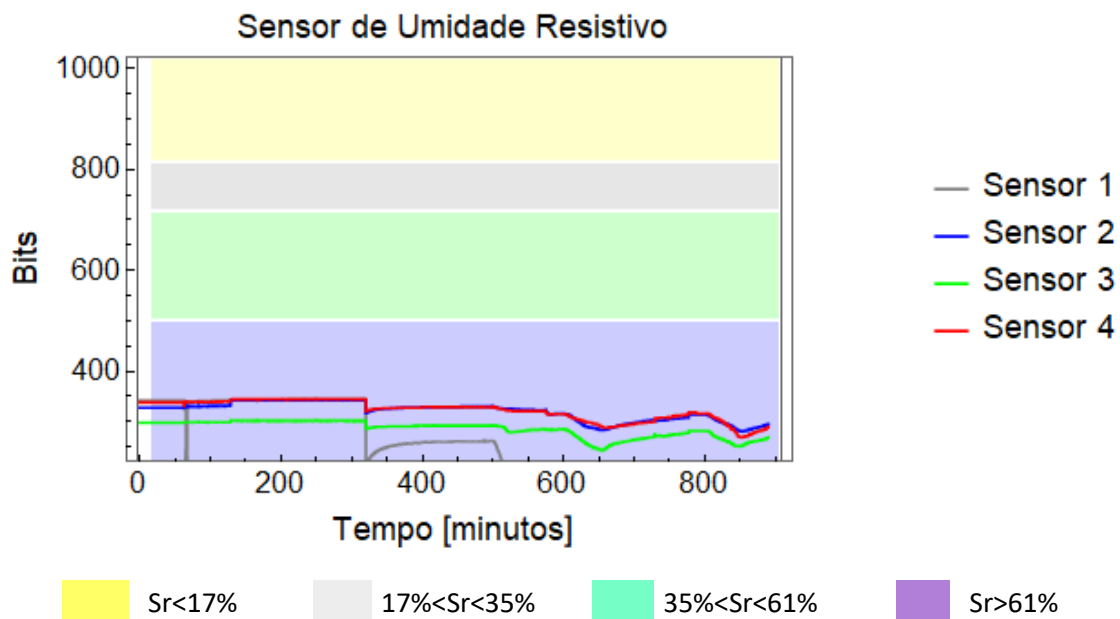
(Ohofuji, 2019).

Vale ressaltar, que estes intervalos podem variar dependendo do tipo de solo disponível. Assim, é necessário realizar um processo de calibração dos sensores. Essa calibração é feita a partir da relação entre resistividade e teor de umidade do solo. Como o intuito da pesquisa é avaliar a funcionalidade da estação, o solo utilizado para o ensaio foi escolhido



de forma que tivesse as mesmas características do solo utilizado para a definição da Tabela 8.

Assim, a partir dos dados obtidos durante o ensaio, foi possível criar um gráfico representado pela Figura 34 que apresenta a variação dos bits lidos e sua posição no que se refere a variação do teor de umidade do solo.

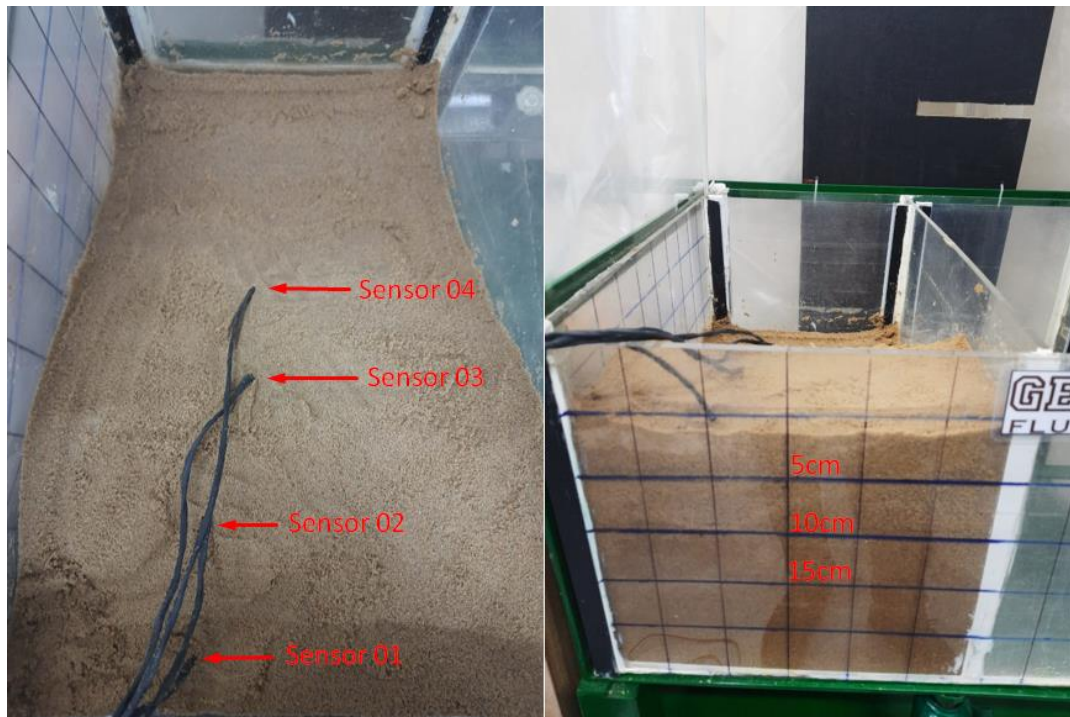


**Figura 34** - Correlação entre os *Bits* e o Teor de Umidade do Solo.

Analisando a Figura 34, é possível observar que o solo já possuía um teor de umidade relativamente alto antes de se iniciar as simulações e que, a partir dos eventos de precipitação e do processo de infiltração, este teor de umidade teve um aumento considerável.

Outro ponto a ser observado é a diferença entre as leituras aferidas por cada sensor de umidade e suas variações. Esta diferença está dentro do esperado pois além dos sensores estarem dispostos em pontos diferentes no modelo reduzido, a profundidade utilizada em cada sensor também foi variável. De forma resumida, os sensores estavam dispostos da seguinte forma: os sensores 1 e 2 estavam em uma camada mais superficial do solo, cerca de 5 cm de profundidade, enquanto que os sensores 3 e 4 estavam em uma camada um pouco mais profunda, com 10 e 15 centímetros de profundidade, respectivamente.

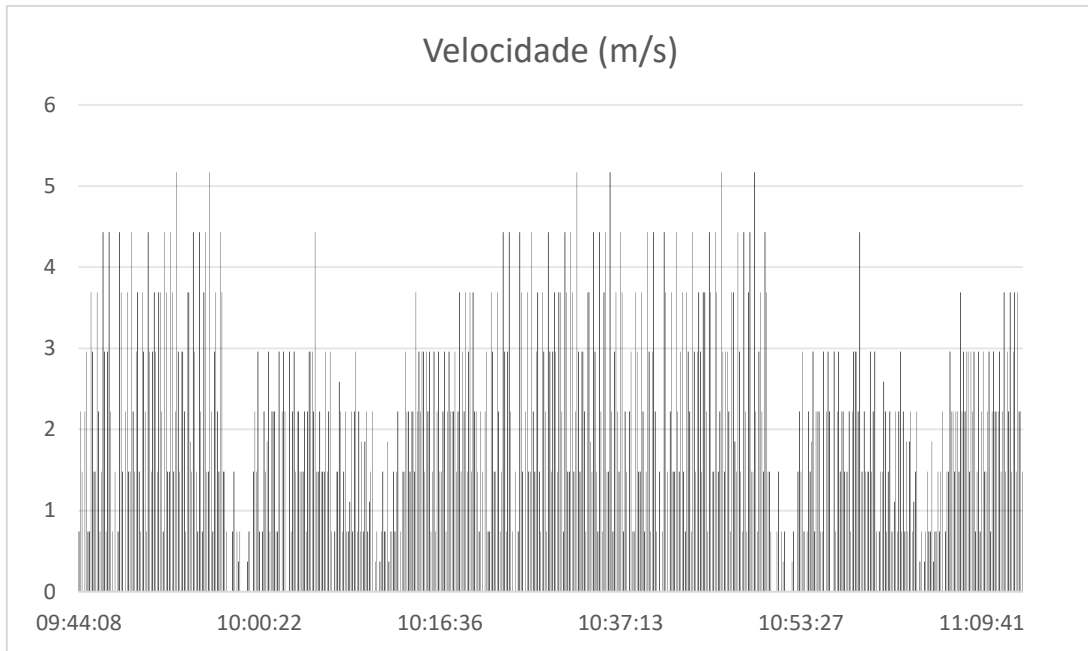
Dessa forma, os sensores mais profundos representados no gráfico como os sensores de número 3 e 4 tiveram uma variação menor quando comparados aos mais superficiais. Isso ocorre, uma vez que estas variações dependem do processo de infiltração da água no solo, o que retarda as leituras dos sensores de umidade mais profundos quando comparados aos demais. Assim, as leituras aferidas foram consideradas condizentes com o evento simulado. A disposição dos sensores pode ser melhor entendida com o auxílio da Figura 35.



**Figura 35** - Distribuição dos Sensores de Umidade do Solo.

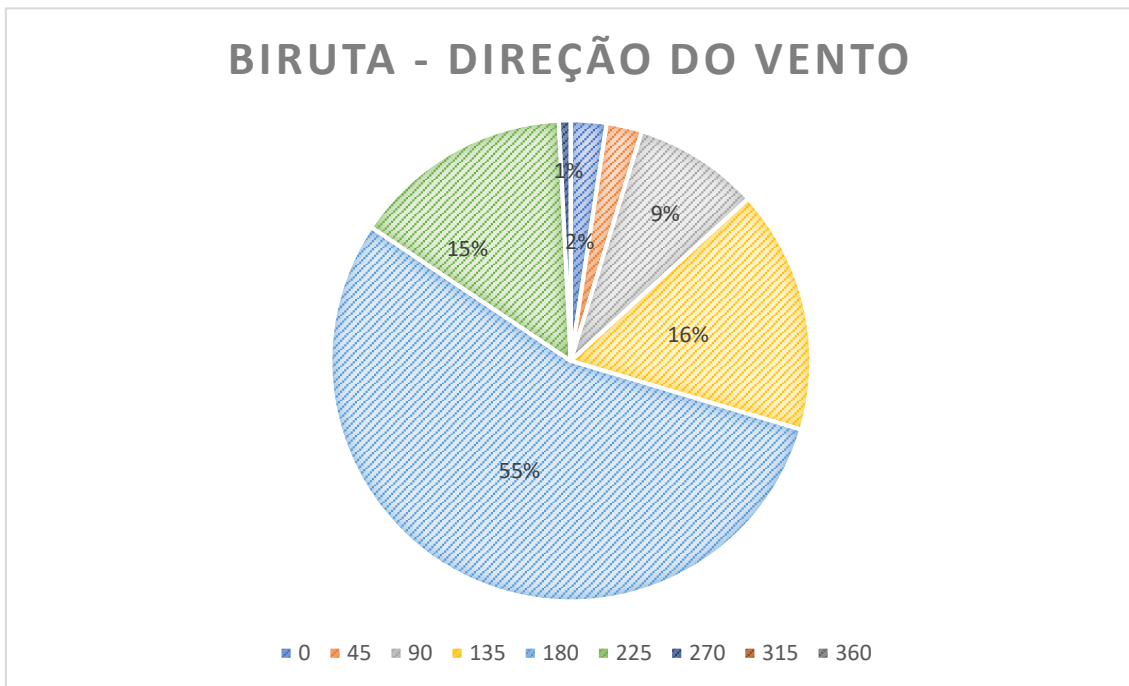
#### **4.2.3. Biruta e Anemômetro**

Com relação às leituras de velocidade do vento obtidas pelo anemômetro durante o ensaio, optou-se por representar os dados de variação de velocidade no decorrer do tempo por um gráfico de barras, conforme a figura 36.



**Figura 36 -** Leitura dos Dados de Velocidade do Vento.

Para a representação da direção do vento, o gráfico de pizza foi escolhido pois apresenta de forma mais clara as variações obtidas durante o ensaio.



**Figura 37 -** Variação da Direção do Vento.

Observando o comportamento dos dados obtidos, pode-se perceber que ocorreu uma certa variação tanto dos valores de velocidade quanto de direção do vento, de forma que em nenhum dos casos este valor ficou estável por um intervalo considerável de tempo. Isso ocorreu, pois a estrutura que armazenava os sensores possuía duas folhas de acrílico nas laterais para evitar o escoamento lateral da água durante os ensaios de precipitação. No entanto, ao ligar o ventilador, foi possível perceber que o vento produzido balançava fortemente essas folhas, o que causava uma turbulência ao redor dos sensores. Assim, os dados obtidos após a análise também se mostraram condizentes com o esperado.

### **4.3. Análise de Custo Benefício da Estação**

Com relação ao benefício desta estação quando comparada a outras disponíveis no mercado, foi realizado um levantamento dos custos para a produção da estação geometereológica, a partir da precificação média dos componentes.

Atualmente, as estações de monitoramento comercializadas são geralmente voltadas para a agricultura, captando apenas dados metereológicos. No entanto, também existem alguns equipamentos comercializados para a aferição de dados geotécnicos que podem ser utilizados para o monitoramento de encostas, mas que devem ser comprados separadamente. De forma geral, o preço médio de uma estação que capta apenas dados metereológicos varia entre dois e quatro mil reais.

A partir da Tabela 9, pode-se perceber que apesar dos esforços para desenvolver uma estação com o menor custo possível, este valor ainda pode ser muito menor. No entanto, comparativamente as disponíveis no mercado, foi possível encontrar um custo benefício mais atrativo mesmo com o valor encontrado para esta estação.

Dessa forma, com a validação dos dados fornecidos pela estação geometereológica e os custos apresentados, torna-se possível a replicação desta estação. Devido ao seu baixo custo de implantação e manutenção, este equipamento poderá ser utilizado mesmo em regiões mais carentes do Brasil, que muitas vezes negligenciam o monitoramento devido ao alto custo das estações disponíveis hoje no mercado. Dessa forma, o desenvolvimento deste trabalho poderá auxiliar na diminuição dos danos causados pelos deslizamentos de terra no Brasil.

**Tabela 9** – Custo dos Componentes da Estação Geometereológica - maio de 2022.

<b>Equipamento</b>	<b>Custo Médio</b>
Sensores Metereológicos	RS 750,00
Sensor de Umidade do Solo	RS 24,00
Placa Arduino Uno R3	RS 85,00
Data Logger RTC – DS1307	RS 25,00
Cartão de Memória	RS 30,00
Fonte de Energia de 9V	RS 20,00
Fio WW 22AWG de Cores Variadas	RS 34,50
Placa Universal Perfurada Lig. (2,8 x 12,9cm)	RS 2,50
Kit de Resistores	RS 25,00
Total	RS 996,00

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A estação geometeorológica desenvolvida neste trabalho pode auxiliar no monitoramento de taludes, pois capta as variações dos valores de precipitação e umidade do solo em tempo real. Como já foi discutido na revisão bibliográfica, a água é um dos principais fatores que contribuem para a ocorrência dos deslizamentos de terra no Brasil e, na grande maioria das vezes, estes eventos ocorrem durante os períodos chuvosos.

Assim, o monitoramento pode ser realizado a partir da determinação de zonas de umidade e precipitação críticas que ao serem atingidas podem comprometer a estabilidade do talude. Portanto, a estação permite avaliar se os dados lidos estão ou não próximos destas zonas. Além disso, a estação fornece dados meteorológicos que podem ser utilizados para dimensionamentos e estudos não só no campo da engenharia civil, mas também de outras áreas como a engenharia ambiental e a agronomia.

O Arduino também pode ser adaptado para enviar um alerta de possível risco de deslizamento, caso algum dos sensores capte variações que possam oferecer risco a estabilidade do talude. Assim, a estação também poderá ser ligada a um sistema de alarme de segurança, podendo evitar maiores danos relacionados a movimentação de terra. Para isso, o código precisaria de uma alteração no que se refere ao armazenamento de dados, uma sugestão seria o envio dos dados por conexão Wi-fi.

Outra sugestão para melhora deste projeto, é o desenvolvimento de sensores próprios para esta estação, já que todos os sensores utilizados são extremamente simples e tem seu funcionamento explicado no decorrer deste trabalho. Dessa forma, sua construção poderia auxiliar com uma redução significativa dos custos, pois os valores dos sensores podem variar com o tempo e isso pode prejudicar a relação de custo benefício aqui estabelecida.

Contudo, mesmo com a adoção de sensores comerciais, o desenvolvimento do projeto em Arduino se mostrou mais uma vez eficaz no que se refere a construção de instrumentações de baixo custo financeiro e computacional.

A partir da análise de custo benefício da estação geometeorológica e da verificação dos dados coletados durante o período de pesquisa, a replicação deste modelo provou-se viável. Assim, devido ao seu baixo custo de implantação e manutenção, este equipamento

poderá ser utilizado mesmo em regiões mais carentes do Brasil, que muitas vezes negligenciam o monitoramento devido ao alto custo das estações disponíveis no mercado.

Dessa forma, a estação se mostrou uma opção no campo do monitoramento de encostas, principalmente em áreas socialmente vulneráveis que não possuem grandes investimentos em equipamentos tecnológicos.

Com o objetivo de facilitar o desenvolvimento de novas estações que utilizam a programação em Arduino ou similares, o código utilizado nesta estação está disponível para download no *link* a seguir: <https://drive.google.com/drive/folders/1ciEnjvBbXR0-5WG10uAZlBhwpsJ8ll5Y>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arduino.CC. Arduino Uno: Documentation. Cc: Arduino, 2016. Disponível em:<  
<https://docs.Arduino.cc/hardware/uno-rev3>. Acesso em: 18 ago. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2008). NBR 11682- Estabilidade de encostas.
- Azevedo, G. F. (2015). *Sistema De Análise Quantitativa De Risco Por Escorregamentos Rasos Deflagrados Por Chuvas Em Regiões Tropicais George*. Universidade De Brasília. Departamento De Engenharia Civil E Ambiental. Tese De Doutorado.
- Borges, édila B. M. (2016). Confecção E Calibração De Pluviômetro Alternativo Como Subsídio à Medição de Precipitação, 12.
- Canavesi, V., Ivo, P., Camarinha, M., & Algarve, V. R. (2013). Análise da susceptibilidade a deslizamentos de terra: estudo de caso de Paraibuna, SP. XVI *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 5251–5258.
- Caputo, H. P. (1996). *Mecânica dos Solos e suas Aplicações (6º)*. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos E Científicos Editora S.A.
- Carolina, G., Mendes, D. M., Prado, S. C., Heber, F., & Oliveira, L. De. (2017). Análise de Resultados de Instrumentação de Monitoramento de Encosta Natural em Caso Coroa Grande – RJ, (November).
- CENAD. (2013). Anuário Brasileiro de Desastres Naturais 2013. *Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres*.
- Gerscovich, D. M. S. (2016). *Estabilidade de Taludes. Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents (2º)*. São Paulo: Editora Odicina de Textos.
- Guimarães, R. F.; Carvalho Júnior, O. A.; Gomes, R. A. T.; Fernandes, N. F. (2008) Movimentos de Massa. In: Florenzano, T.G. (Org.). *Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 159-184.
- Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). *O manual de deslizamento - um guia para a compreensão de deslizamentos. US Geological Survey Circular (Vol. 01)*. Canadá.



- Malko, J. A. C., Casagrande, M. D. T., Sales, L. F. P., Folle, D., & Dilda, V. (2014). Avaliação da Estabilidade de Um Talude Rodoviário Através de Dados Provenientes de Instrumentação Geotécnica. *Revista de Engenharia Civil IMED*, 1(2), 8. <http://doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v1n2p15-22>
- Mendonça, M. B. de. (2013). Atividades Socioeducativas Sobre Desastres Associados a Deslizamentos De Terra – Estudo De Caso Numa Comunidade Em Niterói, Rj. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista*, 9(6), 1–10. <http://doi.org/10.17271/19800827962013471>
- MolinarI, D. C.(2005) Hidrologia Superficial em Encostas: Infiltração de Água e Movimentos de Massa - O Caso da Fazenda Caipuru - Presidente Figueiredo - Amazonas. *Revista Discente Expressões Geográficas*. Florianópolis-SC, N° 01, p. 57-71.
- Ohofugi, N. G., Góis, M. S., & Costa, K. R. C. B. da. (2019). Instrumentação de Baixo Custo em Coluna de Solo para Monitoramento Time-Lapse da Ascensão Capilar, 8.
- Oliveira, W. dos A., Bruno, I. R. A. da S., Santana, K. A., & Souza, V. O. S. T. de. (2019). Implantação Da Plataforma De Arduino Como Método De Aprendizagem Dos Alunos Do Ifba-Jacobina.
- Rocha, G., Filipe, L., Jesus, D., & Teotônio, R. (n.d.). Protótipo de micro estação meteorológica para pesquisa de dados atmosféricos na região do Pantanal Matogrossense, 10.
- Rojas, K. R. C. (2017). *Estudo Dos Deslizamentos Superficiais Deflagrados Por Chuvas Implementando A Análise Não Saturada E Transiente Em Escala Regional Katherin. Solid State Ionics*. Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Dissertação de Mestrado.
- Santos, E. B. (2020). *Efeitos do treinamento de identificação de fatores de riscos de deslizamento de terra: a percepção de risco em medidas do Eye Tracking e IRAP*. Universidade de Brasília. Departamento de Processos Psicológicos Básicos. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Comportamento Efeitos. Dissertação de Mestrado.
- Sarasti, C. A. (2015). *Estudo de diferentes métodos de análises de estabilidade de taludes*

- terrosos. Ekp. Universidade federal do pampa. Departamento de engenharia civil. Monografia.
- Schadeck, R. et al. (n.d.). *Relatório de Danos Materiais e Prejuízos Decorrentes de Desastres Naturais no Brasil 1995-2014*.
- Sestrem, L. P. (2012). *Concepção E Implantação De Um Plano De Instrumentação Para Avaliação Das Condicionantes Geotécnicas De Uma Encosta Litorânea*. Universidade Federal Do Paraná. Setor De Tecnologia Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Construção Civil. Dissertação Mestrado.
- Silva, A. P. do N. e. (2018). *Probabilidade De Ruptura Transiente De Encostas Medida Durante Eventos Significativos De Precipitação*. *Gastrointestinal Endoscopy*. Universidade De Brasília. Departamento De Engenharia Civil E Ambiental. Dissertação De Mestrado.
- Silva, C. C. DA. (2015). *Análise De Estabilidade De Um Talude Da Cava De Alegria Utilizando Abordagem Probabilística*. Universidade Federal De Ouro Preto. Departamento De Engenharia Civil. Dissertação De Mestrado.
- Silveira, H. L. F. Da S., Vettorazzi, C. A., & Valente, R. A. (2014). Avaliação Multicriterial No Mapeamento Da Suscetibilidade Multicriteria Evaluation In The Mapping Of Landslide. *Revista Árvore, Viçosa-MG*, v.38, 38, 973–982.
- Torres, J. D., Monteiro, I. O., Santos, J. R., & Ortiz, M. S. (2015). Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados. *Scientia Plena*, 11(2), 13. 2
- Thomsen, Adilson (2014). Guia gratuito para iniciantes mostra como começar com Arduino: Como começar com Arduino. Acesso em: 24 de agosto de 2021
- Yuri, R. D. P. D., & ROMANO, Y. S. D. S. (2018). *Desenvolvimento De Estação Meteorológica Utilizando Arduino*. Centro Universitário De Anápolis Unievangélica. Monografia para Bacharelado.