



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Adriana Raniely Borges de Araújo

IDEALIZAÇÃO DE UM SISMÓGRAFO COM A PLATAFORMA MICROCONTROLADORA ARDUINO

Palmas – TO

2017

Adriana Raniely Borges de Araújo

IDEALIZAÇÃO DE UM SISMÓGRAFO COM A PLATAFORMA
MICROCONTROLADORA ARDUINO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. MSc. Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues.

Co-orientador: Prof^o. M.Sc. Vinícius Gouveia de Miranda

Adriana Raniely Borges de Araújo

IDEALIZAÇÃO DE UM SISMÓGRAFO COM A PLATAFORMA
MICROCONTROLADORA ARDUINO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues.

Co-orientador: Prof^o. M.Sc. Vinícius Gouveia de Miranda

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues
Orientador
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Dr. Erwin Francisco Tochtrop Junior
1^o Avaliador
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. M.Sc. Daniel Francisco Padilha Setti
2^o Avaliador
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO
2017

Agradecimento

Agradeço primeiramente a Deus pela o cumprimento da promessa e por colocar no meu coração a motivação por um projeto maior do que eu mereço, obrigada Deus por me permitir viver os Teus sonhos e pela a Sua vontade que é boa, perfeita e agradável.

A minha família por ter buscando realizar os meus sonhos e por viver cada etapa tão intensamente de perto, obrigada pelo o amor que sempre cada um me dedicou, obrigada por segurar minha mão quando tudo era tão impossível e aguentar os estresses e choros. Eu amo vocês mais do que eu possa declarar ou expressar. Obrigada pelas as orações e pelos os longos jejuns em todos esses anos. Através de vocês eu aprendo mais sobre Jesus e sobre o Seu amor incondicional, vocês são as pessoas mais parecidas com Ele que eu conheço.

Gabriel Alencar, obrigada por contribuir com minha vida acadêmica por cada noite em claro, por ouvir cada choro e desespero. Obrigada por me acalmar, por me motivar e principalmente por todo amor.

Aos meus amigos por todo apoio, amor e compreensão. Vocês marcaram minha vida e fazem parte dessas historia da qual eu irei carregar para sempre no meu coração, lembrando sempre de vocês com amor e carinho e sempre retribuindo com amor todas as ajudas que recebi nesses anos. Agradeço a cada grupo de estudo que me acolheu nesses anos, a cada madrugada que passamos juntos. Vejo bondade e amor em cada um de vocês e desejo que o nosso futuro, principalmente o profissional, seja cheio de boas supressas.

Rodrigo Meirelles, agradeço por cada momento em que esteve disposto a tirar minhas duvidas e por toda atenção ao meu trabalho e o desejo para que tudo desse certo. Vinicius, meu orientador grata sou a Deus por você está na minha vida e por toda ajuda que me dedicou nesses últimos anos, obrigada por ver um futuro tão promissor na minha vida e me ajudar a sonhar mais alto. Não sei se obrigada é o suficiente, mas saiba que tem toda a minha gratidão e admiração.

Resumo

ARAUJO, Adriana Raniely Borges de. IDEALIZAÇÃO DE UM SISMÓGRAFO COM A PLATAFORMA MICROCONTROLADORA ARDUINO. 2017. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2017.

Este trabalho tem como objetivo principal a criação de um protótipo de um sismógrafo usando a plataforma microcontroladora Arduino. O embasamento desse trabalho originou-se pela o auto valor em que esses equipamentos são vendidos hoje no mercado, com o Arduino podemos criar um equipamento com um baixo custo atendendo a todas as especificações e normas regulamentadoras existentes para tal. O trabalho teve um estudo bibliográfico provando ser possível a criação desse equipamento com autores conceituados e que são destaques nos assunto. O trabalho também conta com uma serie de testes que provam a veracidade matemática em que esse trabalho conclui-se.

Palavras-chave: Arduino, sismógrafo, protótipo.

ABSTRACT

ARAUJO, Adriana Raniely Borges de. IDEALIZAÇÃO DE UM SISMÓGRAFO COM A PLATAFORMA MICROCONTROLADORA ARDUINO. 2017. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2017.

This work has as main objective the creation of a prototype of a seismograph using the Arduino microcontroller platform. The basis of this work was originated by the self-value in which these equipments are sold today in the market, with the Arduino we can create a equipment with a low cost meeting all the specifications and norms existent for such. The work had a bibliographic study proving that it is possible to create this equipment with renowned authors and that are highlights in the subject. The work also has a series of tests that prove the mathematical veracity in which this work is concluded.

Keywords: Arduino, seismograph, prototype.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Direção e deslocamento da onda primária.....	14
Figura 2 - Direção e deslocamento da onda S.	14
Figura 3 - Direção e deslocamento da onda Rayleigh.....	15
Figura 4 - Direção e deslocamento da onda Love.....	15
Figura 5 - Idealização das zonas afetadas pela fase dinâmica, imediatamente ao redor da perfuração.....	17
Figura 6 - Velocidade de partícula x Consumo específico.	20
Figura 7 - Velocidade máxima de partícula x Tempo de retardo.....	21
Figura 8 – Sismógrafo.	23
Figura 9 - Sensor de vibração <i>Strain Gauge</i>	26
Figura 10 - Componentes micro-eletromecânicos.....	27
Figura 11 - Placa Arduino Uno REV3.....	31
Figura 12 - Software para programação.....	34
Figura 13 - Entradas e saídas digitais da placa.....	35
Figura 14 - Arduino UNO.....	36
Figura 15 - Multímetro modelo ET-1100.....	40
Figura 16 – Layout básico do Arduíno mais protoboard.....	40
Figura 17– Medida de tensão numa bateria de 9V.....	42
Figura 18- Corrente elétrica.....	42
Figura 21-Teste de confiabilidade com multímetro.....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de sismógrafos.	24
Quadro 2 - Tipos de placas da família Arduino.	29
Quadro 3 - Componentes utilizados.	39
Quadro 4 - Componentes da análise de viabilidade.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cronograma das atividades. **¡Error! Marcador no definido.**

LISTA DE ABREVIACOES

ANFO	Ammonium Nitrate / Fuel Oil
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
IDE	<i>Integrated Developement Environment</i>
LED's	<i>Light Emitting Diode</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
H/B	Altura do bancada

LISTA DE SÍMBOLOS

mm/s	milímetro por segundo
Kgs	Quilograma
f	Frequência
Ms	metro vezes segundo
>	Maior
X	Vezes
M	Massa
A	Aceleração
Hz	Hertz
V	Volt
C++	cê mais mais
mA	Miliampere

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	11
1.2 HIPÓTESES	11
1.3 OBJETIVOS.....	11
1.3.1 Objetivo Geral	11
1.3.2 Objetivos Específicos	11
1.4 JUSTIFICATIVA.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 ONDAS.....	13
2.2 TIPOS DE ONDAS	13
2.3 CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO ONDULATÓRIO.....	15
2.4 GERAÇÃO DE ONDAS SÍSMICAS POR DECAPAGEM.....	16
2.5 VIBRAÇÕES.....	17
2.5.1 Variáveis que afetam as características de vibrações	18
2.5.2 Geologia local e características das rochas	18
2.5.3 Peso da carga operante	18
2.5.4 Distância de um ponto para o desmonte	19
2.5.5 Consume específico de explosivo	19
2.5.6 Tipos de explosivos	20
2.5.7 Tipos de retardo	20
2.6 VARIÁVEIS GEOMÉTRICAS DE DESMONTES.....	22
2.7 SISMÓGRAFO	23
2.8 SENSORES QUE COMPOEM UM SISMÓGRAFO.....	24
2.8.1 Sensores piezoelétricos	25
2.8.2 Sensor Gauge Strain	25
2.8.3 Sensores MEMS (Micro Electro Mechanical System)	26
2.9 ARDUINO	28
2.9.1 Plataforma de desenvolvimento Arduino	30
2.9.2 Hardware do Arduino	31
2.9.3 Software do Arduino	32
2.9.4 Linguagem wiring	33
2.9.5 Entradas digitais	34
2.9.6 Saídas PWM	36

3 METODOLOGIA	37
3.1 ANALISE DO ESTUDO	37
3.2 OBJETO A SER ESTUDADO	38
3.3 LOCAL REALIZAÇÃO DA PESQUISA	38
3.4 PROCEDIMENTO	38
3.4.1 Componentes utilizados	39
3.4.2 Métodos a ser desenvolvido em laboratório	40
3.4.3 Análise de valores usando multímetro	41
3.4.4 Estudo de viabilidade de mercado	43
3.4.5 Análise de dados em campo	43
3.4.6 Avaliação de confiabilidade	44
3.5 Montagem do Circuito	45
3.5.1 Componentes	45
3.5.2 Ligação eletrônica	45
3.6 Programação	45
3.8 Obtenção dos dados	48
4 RESULTADOS	50
4.1 Teste de qualidade do sinal	50
4.2 Teste de hipóteses	52
5 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	55
6 CONCLUSÃO	55

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do CONFEA, mesmo com o déficit de engenheiros que o país possui (cerca de 40 mil por ano) em relação a outros países como a Rússia, a Índia e a China que formam 190 mil, 220 mil e 650 mil respectivamente, as engenharias em geral têm tido um crescimento e a engenharia de minas especificadamente tem acompanhado esse crescimento. Hoje já existem minerações em meios urbanos o que tem dificultado em alguns aspectos trabalhos frequentes na mineração. Em meios urbanos os desmontes de rochas precisam ser muito bem executados para não haver problemas no meio em que esta acontecendo, o uso dos sismógrafos é imprescindível para uma análise minuciosa evitando danos. Segundo *Seismographs - An Historical Overview*, as operações se aproximaram cada vez mais das áreas residenciais, a preocupação do público com as vibrações aumentou.

O sismógrafo é usado para receber qualquer movimento do solo, ou seja, captar todas as ondas mecânicas que se propagam no meio elástico. *Reed* defende (*Sesmographs – An Historical Overview*) que no final dos anos 70, os empreendimentos imobiliários se aproximavam cada vez mais das minas e pedreiras o que alavancou o desenvolvimento dos sismógrafos. Na mineração esse tipo de equipamento tem sido usado para medir vibrações causadas pelo o desmonte de rocha, essas avaliações são usadas para estudos de intensidades com que a onda se propaga podendo assim diminui-la.

Este trabalho tem por objetivo construir um protótipo de um sismógrafo com a plataforma Arduino. Um dos pontos relevantes para a execução desse trabalho é o custo que esse equipamento tem sido comercializado no mercado¹, a ideia é baixar o custo do equipamento mantendo a qualidade e eficiência do mesmo.

A plataforma Arduino surgiu em 2005 e tem conquistado a todos que desejam desenvolver projetos com qualidade e baixo custo segundo Souza (2013). Essa plataforma microcontroladora tem se destacado no mercado com um crescimento muito grande desde o seu surgimento. Essa plataforma é de código aberto e uma junção de hardware e software.

¹ O preço dos sismógrafos hoje podem chegar aos 4.200 mil euros, conforme cotações solicitadas em janeiro de 2017.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Conforme declarado no evento *Blaster School* (TO, 2016), Um dos aspectos negativos para esse tipo de equipamento de grande importância para a segurança é o seu preço, a ideia de um equipamento tão eficiente quanto os que estão no mercado com um preço bem menor seria um ganho para as empresas que necessitam desse serviço, sendo ele cada vez mais usado evitando inúmeros acidentes nesse meio.

Portanto, o problema são os altos valores dos sismógrafos e a dificuldade de pequenas empresas de possui este tipo de equipamento?

1.2 HIPÓTESES

H1: A criação de um protótipo de sismógrafo com a plataforma Arduino

H2: A criação desse protótipo com valor viável

H3: Teste de confiabilidade.

1.3 OBJETIVOS

Foram estabelecidos os seguintes objetivos para esse projeto de pesquisa:

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade da criação de um protótipo de um sismógrafo baseado na plataforma Arduino de baixo custo visando à mesma qualidade e eficiência dos demais que estão no mercado.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o custo benefício do protótipo;
- Avaliar os sinais de entrada;
- Avaliar a intensidade da onda;
- Realizar testes de confiabilidade do sinal;

1.4 JUSTIFICATIVA

O uso dos sismógrafos tem sido cada vez mais constante, muitas minerações têm buscado estudar sobre vibrações, pois esses estudos tem sido de suma importância, pois como afirma Giraudi et al. (2009), um dos maiores problemas em operações mineiras e projetos de engenharia civil é propagação de ondas vibracionais.

A engenharia civil usam sismógrafos em meios urbanos para a captação de ondas provocadas por desmonte de rochas, um exemplo é no uso para demolição de edifícios, liberação de áreas urbanas ou para uma construção de um novo prédio. Esse tipo de demolição possui um estudo de vibração para não comprometer edificações vizinhas.

Na engenharia de minas os sismógrafos são usados para medir a intensidade das ondas de propagação quando se realiza o desmonte de rochas, o uso dos sismógrafos é constante para a monitorização de cada detonação que se tenha dentro da lavra.

O protótipo do sismógrafo usando a plataforma Arduino, será para que se tenha um equipamento que realize as mesmas funções, mas que possua um valor econômico mais viável para que todos tenham acesso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo trata do levantamento bibliográfico sobre ondas vibracionais, Arduino e programação para a plataforma microcontroladora.

2.1 ONDAS

De acordo com a mecânica clássica, um movimento oscilatório de um corpo seja ele sólido ou fluido corresponde a uma variação em relação ao seu estado inicial de equilíbrio nomeado também de vibração.

Bernardo (2004) diz que vibração é a resposta do terreno de forma elástica a uma passagem de ondas de tensões sendo elas, diretas ou indiretas com início natural ou artificial. Sua origem advém de forças externas com curtos períodos de duração ou contínuos, mas com intensidades variáveis de acordo com o tempo e espaço no qual se propagam.

Segundo Sarsby (2000), as vibrações em terrenos são subdivididas em três grupos:

- Contínuas – níveis de vibrações quase constantes que são mantidos por longos períodos.
- Transitórias – Níveis de vibrações são resultados de um grande impacto, seguido de um tempo de repouso longo.
- Intermitentes – na verificação de vários eventos vibratórios, cada qual com pequena duração.

2.2 TIPOS DE ONDAS

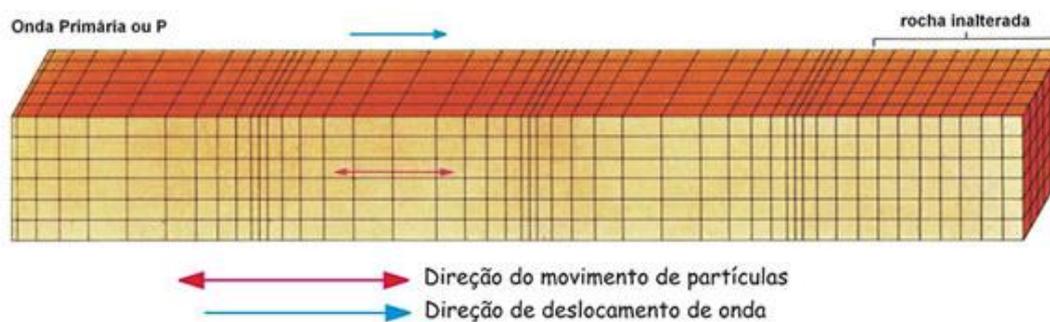
Sánchez (2013) afirma que, ondas elásticas são divididas em dois grupos:

- Ondas internas, pois a reação dela é de espalhar-se no interior da rocha.

Entre elas estão:

- Ondas P: Chamada de longitudinais, de compressão ou principais. Essa onda é capaz de se locomover de forma veloz, volumetricamente deformando a rocha em sentido a propagação. Resumidamente as partículas e a propagação se movimentam na mesma na direção, de acordo com a figura 1.

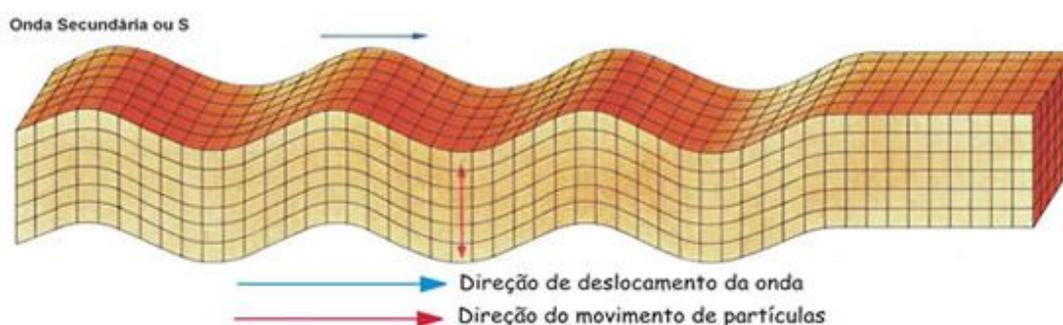
Figura 1 - Direção e deslocamento da onda primária.



Fonte: Norte (2017).

-Onda S: São ondas transversais, de cisalhamento ou secundárias. Kearey, Brooks e Hill (2009), explica que em sismologia de terremotos essa onda se reproduz através do cisalhamento em direção perpendicular a onda. As partículas se envolvem na oscilação em que existe um ponto fixo que também está a um plano perpendicular no sentido da propagação. Contendo em um mesmo plano todas as oscilações pertencentes às partículas, logo a onda de cisalhamento é chamada de plano polarizada, de acordo com a figura 2.

Figura 2 - Direção e deslocamento da onda S.



Fonte: Norte (2017).

- Ondas de superfícies: São ondas que se propagam por dois meios de comunicações gerando uma interface.

Entre elas estão:

- Ondas R: Chamada de onda Rayleigh, em homenagem ao Lord Rayleigh que se dedicou ao estudo das mesmas. A sua velocidade é de 90% das ondas S, com maiores amplitudes e comprimentos que as ondas P e S. As partículas se

movimentam dentro da onda de forma elíptica e retrógrada em plano vertical na mesma direção que a propagação, de acordo com a figura 3.

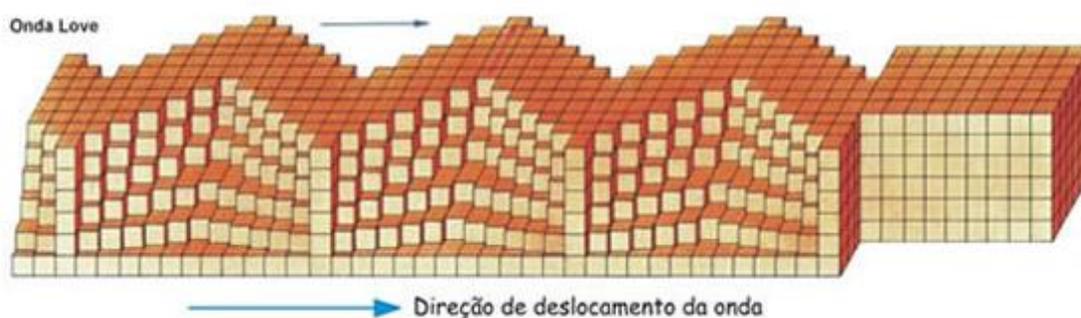
Figura 3 - Direção e deslocamento da onda Rayleigh.



Fonte: Norte (2017).

- Ondas L: Onda Love como ela é conhecida, tem oscilação parecida com a onda R, também elíptica essa por sua vez é em plano horizontal. A velocidade também é semelhante com a da onda R, de acordo com a figura 4.

Figura 4 - Direção e deslocamento da onda Love.



Fonte: Norte (2017).

2.3 CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO ONDULATÓRIO

Sánchez (2013), declara que o movimento ondulatório é caracterizado pelo o movimento das ondas propagando as vibrações, não há movimento ativo de massa nem de volume, não existe também movimento de matéria, mas apenas uma transferência de energia de um ponto para outro.

O movimento vibratório semelhante a um movimento de sinusoidal harmônico, descrito na equação:

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi) = A \cdot \sin(2\pi f t + \phi)$$

Onde:

x é o deslocamento, em unidades de comprimento;

t é o tempo, em segundos;

A é a amplitude máxima, valor atingido pela oscilação;

f é a frequência natural do movimento (em hertz);

ω é a frequência angular do movimento ($\omega=2\pi f$), em radianos;

ϕ é a fase inicial que indica o estado de vibração (a fase) em instantes $t=0$ da partícula que oscila.

A velocidade (v) a aceleração (a) são encontradas pela a primeira e segunda derivada da equação.

$$v = \frac{dx}{dt} = 2\pi f \cdot A \cos \omega t = \omega \cdot A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -(2\pi f)^2 \cdot A \sin(\omega t) = \omega^2 \cdot A \sin(\omega t + \pi)$$

2.4 GERAÇÃO DE ONDAS SÍSMICAS POR DECAPAGEM

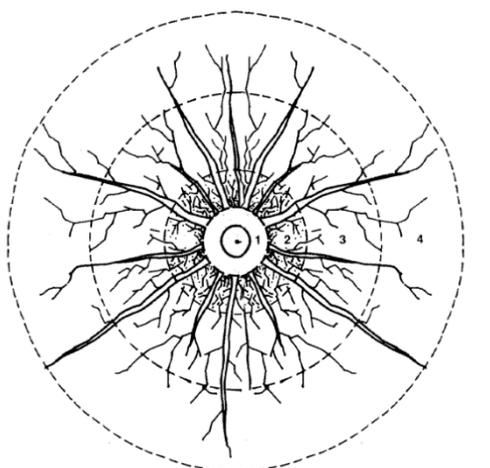
Segundo Sánchez (2013), a detonação de explosivos dentro de um furo geram ondas de choque provenientes de um aumento de pressão nas paredes do furo transmitido a rocha envolvente. Essa onda de deformação tem formato cilíndrico difundido no furo de sondagem, ou, carga de ponto esférica. O elemento de compressão que o material sustenta será a função inversa do quadrado da distância.

Sanchidrián & Muniz (2000) mostra que existem três zonas no contorno do furo que dependem da proporção da pressão da onda de choque. De acordo com a figura 5.

- Zona imediata do orifício: em que a pressão da onda de choque provoca a resistência à compressão da rocha, causando pulverização, sendo assim o amortecimento da onda de choque em consequência do alto consumo de energia. Com área pequena e com diâmetro proporcional ao furo onde acontece o amortecimento da onda de choque.

- Zona de deformação plástica: Onde a onda de choque não extrapole a resistência á compressão da rocha, por ser um limite elástico, produzindo deformações permanentes. Nessa zona de rachaduras mais radiais de forma intensa ao redor do furo são produzidos pelo efeito das tensões de tração tangencial.
- Zona elástica: Nesta zona a área e tensões supera o limite elástico do material a compressão, gerando nele um comportamento elástico e também fraturas radiais como consequência de tensões de tração. Tendo um consumo de energia nulo e o amortecimento ocorre devido ao aumento da superfície.

Figura 5 - Idealização das zonas afetadas pela fase dinâmica, imediatamente ao redor da perfuração.



Fonte: COUCEIRO J., P. J. C. (2013)

Devido à distância que é relativamente pequena do furo gera-se o efeito de vibração, onde são geradas ondas elásticas, com energias negligenciável.

2.5 VIBRAÇÕES

Sanchidri & Muñiz (2000) afirmam que as vibrações são geradas pelo um grande aumento de pressão em um furo de sondagem realizado por tensão dinâmicas na rocha circundante, cunhando em ondas de tensões que são espalhadas pelo o furo diminuindo distância em que a energia transmitida deverá ser distribuída em toda a superfície superior.

A onda provoca movimentos vibratórios no terreno que é uma parte da energia em que se perdeu na detonação. Vibrações desse tipo causam danos em várias estruturas adjacentes.

2.5.1 Variáveis que afetam as características de vibrações

Llera et al. (1987), afirma que, essas variáveis influenciam os resultados de desmontes, classificando em dois grupos, os controláveis e não controláveis pelos os utilizadores de explosivos.

2.5.2 Geologia local e características das rochas

Llera et al. (1987), diz que os fatores que possuem uma grande atuação sobre as vibrações são a geologia local e as características mecânicas das rochas.

Em maciços rochosos as vibrações são propagadas em todas as direções, mas em estruturas geológicas de ordem complexa, essa propagação de ondas podem sofrer variações por índices variados devido à lei de atenuação e propagação.

O solo que possui padrões inferiores aos padrões de rochas elásticas e conseqüentemente resulta em velocidades menores de ondas de propagação neste tipo de material. A frequência da vibração f também sofre uma diminuição, no entanto deslocamento A tem um aumento de acordo com as espessuras.

A intensidade em que a vibração acontece em distâncias grandes é diminuída depressa se existir materiais de revestimentos, pois grande parte da energia é consumida para vencer o atrito existente entre as partículas e o deslocamento dos mesmos.

2.5.3 Peso da carga operante

Llera et al. (1987), descreve que a intensidade determinante da vibração terrestre em um dado ponto sofre variações de acordo com a carga de explosivos e a distância a partir desse ponto para o local do desmonte.

Em desmontes que possuem detonadores a carga que se usa não será a soma da carga total e sim a carga máxima operante, considerando o tempo em oito milissegundos. Quando os detonadores possuírem o mesmo tempo de retardo, a carga máxima operante geralmente será menor que a total com base nos tempos de saída dos detonadores.

Um fator que deve ser levado em consideração é o peso da carga operante, pois ele afeta diretamente a produção de vibrações. A relação potencial entre a intensidade da vibração e a carga operante a velocidade da partícula se dá por:

$$V \propto Q^a$$

$a = 0,8$, segundo *U.S.bureau of Mines*;

V = velocidade;

Q = carga;

2.5.4 Distância de um ponto para o desmorte

Um fator que implica na intensidade das vibrações, Llera et al. (1987), afirma que é à distância do desmorte, a carga. À distância e a intensidade das vibrações são inversamente proporcional como mostra a equação:

$$V \propto \frac{1}{D^b}$$

$b = 1,6$, segundo *U.S.bureau of Mines*;

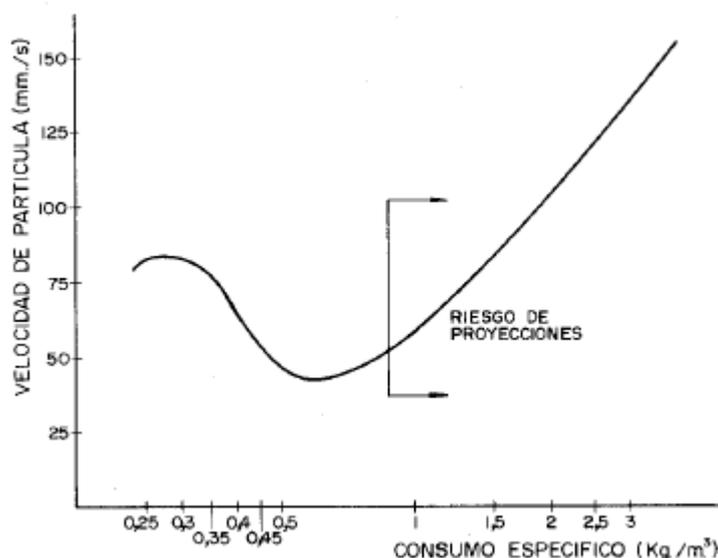
V = velocidade;

Q = carga;

2.5.5 Consumo específico de explosivo

A partir do consumo específico de explosivos pode gerar vibrações excessivas, isso se deve a geometria do desmorte. Caso ocorra uma diminuição do consumo específico, pode-se comprometer a eficiência do explosivo como a capacidade de romper a rocha, de acordo com a figura 6. Llera et al. (1987), confirma que neste caso necessita-se de uma otimização do desmorte.

Figura 6 - Velocidade de partícula x Consumo específico.



Fonte: Llera et al. (1987).

2.5.6 Tipos de explosivos

Llera et al. (1987), diz que existe uma ligação entre as velocidades das partículas e as tensões que elas exercem sobre a rocha, a continua harmonia entre elas, ou seja, impedância do meio rochoso. O primeiro efeito da ação que os explosivos são capazes de produzir nos furos é a tensão. Explosivos que possuem densidade e velocidade de detonações baixas são conhecidos como ANFOS. Usando quantidades semelhantes de ANFOS e hidrogel, verificamos que a magnitude das vibrações produzidas pelo o ANFO é de 2x ou 2,4x inferior a do hidrogel.

Em estudos vibrográficos, em que se aplicam explosivos de potencias diferentes, essas diferenças devem ser padronizadas em uma potencia conhecida. O ANFO é escolhido como referencia, já que tem um consumo em quantidades elevadas.

2.5.7 Tipos de retardo

Llera et al. (1987) diz que existe um intervalo de tempo na detonação dos furos que é realizado pelos os retardos. Temos dois tipos de retardo, o nominal que é o planejado e o retardo efetivo que é aquele que acontece na prática. O retardo efetivo é produzido pelos os pulsos provenientes da detonação dos furos em

períodos sucessivos. Em casos simples os critérios para o retardos são analisados através da formula:

$$t_e = t_n \frac{S \times \cos \phi}{VC}$$

t_e = Tempo de retardo efetivo

t_n = Tempo de retardo nominal

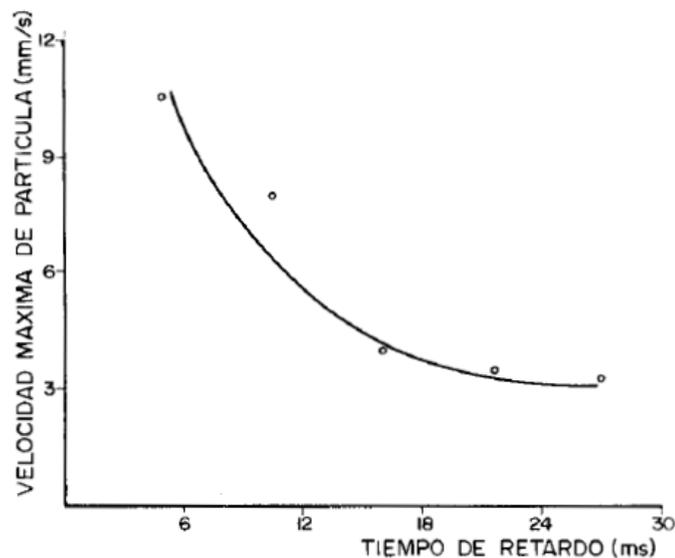
S = Espaçamento entre os furos

VC = Velocidade de propagação das ondas sísmicas

ϕ = Ângulo entre a linha de progressão do desmonte e a posição do captador.

O tempo mínimo de retardo que existe para acabar com as interferências e efeitos de soma foi estudado por Duvall (1963), que estimavam intervalos de 8ms e 9ms, com estudos em pedreiras de calcário. *Langefors* (1963) afirma que pontos existentes com intervalos superiores a três vezes o período de vibração diz que não há cooperação entres os furos adjacentes detonados de forma sequenciados, em razão dos sinais amortecidos. *Wiss e Linehan* (1978) indicam um tempo retardo nominal com tempos de retardos seguidos de 17ms, para que não existam soma de vibrações. Outra análise é feita através do Nobel's Explosives Co. Gran Bretanha [s.a], que afirma que em desmontes sequenciados e com retardos abaixo de 25ms existe uma influência no nível elevado de vibração.

Figura 7 - Velocidade máxima de partícula x Tempo de retardo.



Fonte: Llera et al. (1987).

2.6 VARIÁVEIS GEOMÉTRICAS DE DESMONTES

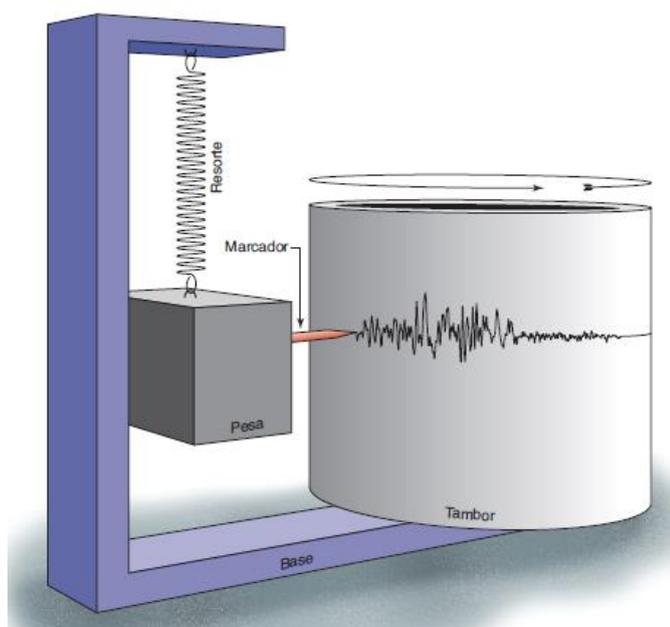
Llera et al. (1987), explica que as variáveis geométricas de um plano de fogo têm influências sobre as vibrações geradas. As principais variáveis geométricas são:

- Diâmetro da perfuração: A quantidade de explosivos colocada no furo é proporcional ao quadrado do diâmetro.
- Altura dos bancos: Adotando sempre a relação $H/B > 2$, para uma fragmentação aceitável eliminando rapés, diminuindo as vibrações já que são cargas de confinamentos inferiores.
- Afastamento e espaçamento: Com afastamento exagerado o explosivo pode sofrer dificuldades para fragmentar a rocha, muito da energia é transformada em energia sísmica o que pode gerar um aumento nas vibrações. Esse fato é notado quando se tem um confinamento total e as vibrações são cinco vezes maiores do que um desmonte em bancadas. É diminuído o tamanho do afastamento reduzindo gases e expandindo para frente livre em uma velocidade grande e assim incitando fragmentos de maneira desordenada causando um aumento das ondas aéreas e ruídos sonoros. Já a ação do espaçamento tem valor parecido com o afastamento e até mesmo o valor do espaçamento depende do afastamento.
- Subfuração: Emprega comprimento superior a que precisa em que a seção adicional coopera com uma quantidade de energia diminuindo o movimento de corte e a rocha na base e assim aumentando a energia gerada pelo o explosivo, ou seja, vibrações, podendo gerar irregularidades no solo.
- Tampão: Se usar um comprimento de retardo grande poderá apresentar problemas de fragmentação, se aumentar o confinamento, pode resultar em níveis mais elevados de vibração.
- Inclinação dos furos: A inclinação dos furos permite uma melhor utilização da energia, conseguindo reduzir vibrações.
- Tamanho do desmonte: Esse tamanho é restrito em alguns aspectos pela crescente demanda de produção, olhando no aspecto das cargas máximas operantes são as que definem os estudos vibrográficos com base nas leis de propagação, tipos de estruturas e parâmetros característicos de perturbação.

2.7 SISMÓGRAFO

Iris (2017) fala que os sismógrafos são utilizados para aferir, detectar ou determinar os movimentos do planeta terra, seja ela gerada por ondas sísmicas, obras ou explosões, é composto de sensor chamado de sismômetro que este conectado a um sistema que capta qualquer alteração no solo. Esse sensor sendo de tipo simples é capaz de registrar movimentos verticais do solo como, por exemplo, um bloco com um peso suspenso em uma mola presos a uma base que tem movimentos de acordo com a superfície. Esses movimentos que são gerados entre o peso e a base são capturados por meio de serie de registros sísmicos chamados de sismogramas, conforme a figura a baixo.

Figura 8 – Sismógrafo.



Fonte: Iris (2017)

Iris (2017) ajuda a compreender que esses equipamentos usam o princípio da inércia. Os sensores sismômetros que são usados para aferir terremotos possuem uma alta sensibilidade há qualquer movimento existente. Hoje em dia os sismógrafos cresceram muito em tecnologias e sendo em sua maioria eletrônico com registros feitos em computadores. Os sismógrafos (**Quadro 1**) mais conceituados hoje no mercado são:

Quadro 1 - Tipos de sismógrafos.

 <p>GEOSONICS - (TECHNOBLAST, 2017)</p>	 <p>INSTANTEL - (INSTANTEL, 2017)</p>
 <p>WHITE - (WHITE, 2017)</p>	 <p>ZTEX - (ZTEX, 2017)</p>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

2.8 SENSORES QUE COMPOEM UM SISMÓGRAFO

Os sensores podem ser de diversos tipos como chaves, dispositivos de acionamentos mecânicos ou até mesmo aqueles que geralmente convertem alguma grandeza física em uma grandeza elétrica. Os sensores atuam informando a ocorrência de um evento externo a um determinado sistema (respondendo a um estímulo de maneira mensurável) de modo que este deverá executar alguma ação a partir da informação recebida. Por exemplo, um transdutor que possui um sensor que converte um tipo de energia em outra. (MADEIRA, 2016)

O principal tipo de sensores existente nos sismógrafos são os do tipo acelerômetro que podem ser qualquer um da lista abaixo:

- Acelerômetros piezoelétricos (ICP e dispositivos de saída de carga);
- Acelerômetros piezoelétricos (dispositivos de saída CP e IEPE);
- Acelerômetros de strain gauge (dispositivos de saída de ponte); e,
- Acelerômetros MEMs (PwM, Impedância analógica e dispositivos de saída em ponte).

2.8.1 Sensores piezoelétricos

Os indicadores mais usados para medir as vibrações e sons são o nível da pressão sonora e a aceleração que podem ser registrados e medidos com o uso de acelerômetros e microfones.

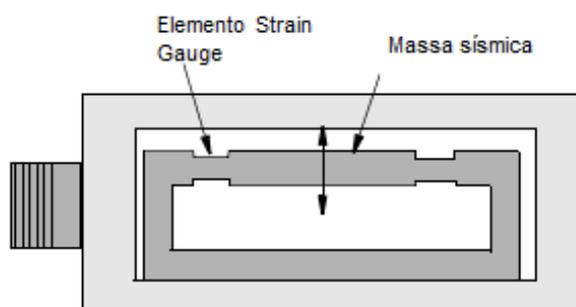
Judd (2008) faz uma explicação serve para um entendimento rápido e explicativo sobre Piezoelétrico. Piezoelétrico funcionam a partir da segunda lei de Newton dada pela fórmula física de $F=m.a$, a resposta desse sensor serve para medir aceleração de um corpo de massa através da fórmula.

Esse sensor possui massa sísmica fazendo com que a força aplicada a determinada massa através de movimento da caixa pressiona o cristal feito de quartzo ou cerâmica que é produzida pelo homem. Essa cerâmica também é chamado de elemento de medição, nela é produzido uma carga elétrica no interior do material que é proporcional à força exercida ao efeito piezoelétrico. Essa força é proporcional a aceleração. A carga de saída é um sinal que produz alta impedância que pode ser medido ou amplificado por outros circuitos. Existem formas de se converter um sinal usando um pré-amplificador que é integrado ao circuito chamado de eletrônico Piezo- eletrônico integrado (sensor IEPE). Sensores usados para medir vibração integrados fornecidos pela PCB Piezotronics, Inc. usam uma marca registrada ICP. Circuitos que condicionam sinais podem ser usados para converter aceleração para a velocidade ou deslocamento.

2.8.2 Sensor Gauge Strain

Judd (2008), simplifica o entendimento sobre os sensores do tipo *Gauge Strain* afirmando que é um tipo de sensor moderno usado para medir tensão, utiliza silício ou folha de *Gauge Strain* depositada ou ligada a um elemento que se flexiona ou deforma com o movimento sísmico. A tensão é detectada através de um circuito em ponte. Este tipo de sensor funciona para medições estáticas em zero Hz, de acordo com a **(Figura 9)** a seguir:

Figura 9 - Sensor de vibração *Strain Gauge*.



Fonte: Judd (2008).

2.8.3 Sensores MEMS (Micro Electro Mechanical System)

Judd (2008) explica que os acelerômetros chamados de MEMS são sensores que foram produzidos nos últimos 15 anos e por isso é um sensor moderno sendo uma de suas grandes características o baixo custo de sua aquisição, estando disponível no mercado em várias opções, usado para vibração e aplicações de inclinação.

Esses sensores foram criados usando as técnicas de micromecanização para detecção de movimento ou força a partir de superfícies de silício.

Quando produzido um movimento que faça o acelerômetro se locomover, esse movimento da massa sísmica é captado pela capacidade diferencial que o piezoresistivo ou outros elementos de sensores possuem. No pacote CI (circuito integrado), onde o sinal é gerado e esse mesmo sinal é amplificado, condicionado e filtrado pelos componentes do circuito. Lembrando que a saída de um MEMS pode ser qualquer um dos vários tipos de sinal, como uma tensão analógica, um sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) combo de impulsos em série SPI. Os sinais digitais eliminam a necessidade de um conversor A/D (analógico-digital) na aquisição de dados sistema.

Torres (2004), também nos esclarece sobre o futuro promissor desse acelerômetro MEMS, desenvolvido muito rápido desde que foi inserido no mercado graças a sua gama de aplicações. Pode ser empregado para tecnologia de celulares até grandes projetos como aeroespaciais e biotecnologia gerando uma junção da área de eletrônica e microeletrônica com ênfase em silício a microusinagem.

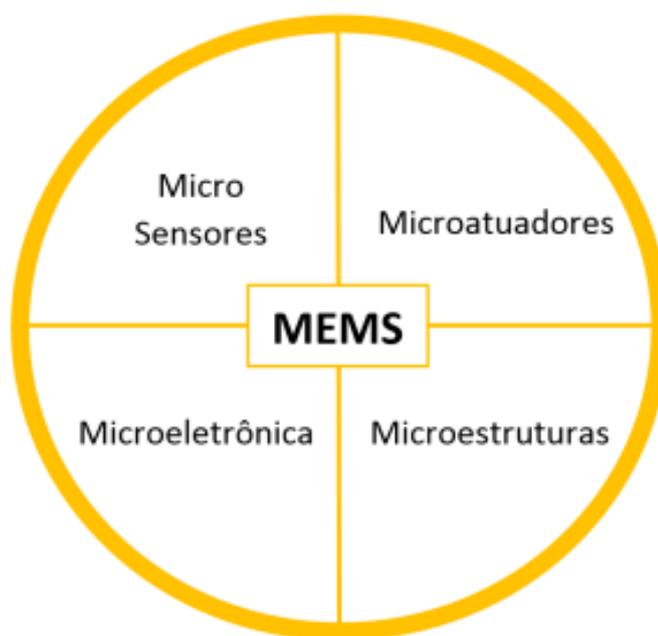
Esse sensor é uma junção de microeletrônica, engenharia mecânica, ciências dos materiais, física e química, que juntos em um chip são capazes de conduzir funções de sensoriamento, controle e atuação.

Torres (2004) conta um pouco sobre o processo de microfabricação que é o processo em que se usa silício e substratos que compõem a microusinagem, nesse processo integra-se as estruturas mecânicas, sensores, atuadores da eletrônica básica tornando um sistema completo em escala micrométrica. Microeletrônica é responsável por controlar e processar o sistema, os MEMS são responsáveis pela direção, sensibilidade e movimento através de equação. Outros tipos de circuitos, como por exemplo, os integrados tradicionais procuram analisar somente as propriedades elétricas do silício, já os MEMS além do uso dessas propriedades ele segue explorando as propriedades mecânicas.

Esse processo da microusinagem que usa várias propriedades do silício tem conseguido um grande espaço no mercado e é um dos processos fundamentais e importantes para a fabricação de dispositivos de microeletromecânicos como os sensores e atuadores.

Esses sistemas micro-eletromecânicos são formados pelos seguintes componentes (Figura 10):

Figura 10 - Componentes micro-eletromecânicos.



Fonte: Torres (2004).

Torres (2004) explica sobre a microeletrônica e como os sensores funcionam dentro deste mundo micro, em especial para um entendimento maior sobre os sensores MEMS. Mudanças do tipo físicas como, por exemplo, as mecânicas, térmicas, magnéticas, químicas e eletromagnéticas são sentidas por micro sensores que são capazes de transformar em sinal elétrico. Microatuadores são acionados na microeletrônica quando recebem um desses sinais criando uma ação a essa mudança sendo capaz de converter sinais elétricos em energia mecânica, Nos MEMS, os sensores e microatuadores são os responsáveis por um bom funcionamento. Microeletromecânico transformam uma energia em outra.

Transdutores podem ser mecânicos, térmicos, magnéticos, químicos ou de radiação. O acelerômetro exerce a função de sensor mecânico ele que sente variações de aceleração, *strain gauges* sentem as deformações e giroscópio mede velocidade de rotação.

Torres (2004) traz um entendimento sobre os acelerômetros, que é um dispositivo capacitivo ou piezo-resistivo que é uma massa suspensa. Com a ajuda de forças que atuam sobre essa massa causa uma aceleração, as placas microusinadas sofrem um efeito chamado de deflexão. São propriedades do tipo física que causam a deflexão e as transforma em sinais elétricos. Temos uma proporcionalidade, se temos uma alta aceleração. A deflexão também será alta sendo assim será gerado um alto sinal elétrico.

2.9 ARDUINO

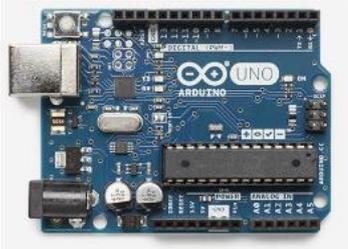
Arduino é uma plataforma de código aberto (hardware e software) criada em 2005 pelo italiano Massimo Banzi para auxiliar no ensino de eletrônica para estudantes de design e artistas. (SOUZA, 2013).

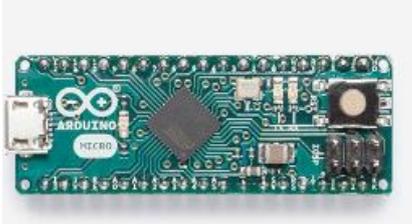
O site da plataforma Arduino o define como: “O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open-source* que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode *sentir* o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem Wiring, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente Processing. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem

ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de *software* específico (ex: Flash, Processing, MaxMSP).”

As placas mais conhecidas são ilustradas no **Quadro 2**:

Quadro 2 - Tipos de placas da família Arduino.

Modelo de placa	Características	Valor
 <p>Uno Rev3 - (ARDUINO, 2017)</p>	<p>Saídas digitais; Um cristal de quartzo de 16 MHz; Baseada no ATmega328P; Tem 14 pinos de entradas; 6 entradas analógicas.</p>	<p>\$ 24,95</p>
 <p>MKR Relay Proto Shield - (ARDUINO, 2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dois relés; com conexões NO , COM e NC; • Bornes de parafusos para fácil ligação; • Tensão de operação 3.3V (fornecido pela placa host); • Bornes de parafusos para fácil ligação. 	<p>\$ 13,90</p>
 <p>Zero - (ARDUINO, 2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 32 bits; • Dispositivos inteligentes IoT; • Tecnologia Wearable; • Automação high-tech. 	<p>\$ 39,90</p>
 <p>101 - (ARDUINO, 2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos Bluetooth LE integrados e um acelerômetro; • Giroscópio de 6 eixos; • A tensão de operação da placa e I / O é 3.3V. 	<p>\$ 30,00</p>

 <p>Micro - (ARDUINO, 2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 20 pinos de entrada; • Saídas digitais; • Botão de reinicialização; • Baseado no ATmega32U4; • Oscilador de cristal de 16MHz. 	\$ 24,95
 <p>MKR1000 - (ARDUINO, 2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conectividade Wi-Fi; • Funciona com bateria ou 5V externo; • Uma boa potência computacional de 32 bits; • Projetos e dispositivos IoT. 	\$ 34,99

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Mcroberts (2011) diz que a vantagem número um do arduino é a fácil utilização, pois qualquer pessoa com um mínimo de conhecimento de microcontroladores conseguem desenvolver projetos em pouco tempo. O arduino possui as placas oficiais, desenvolvidas pela a empresa responsável, mas rapidamente houve uma produção de várias placas-clones, o que deixam os projetos ainda mais baratos. E desde sua criação a sua popularidade no mercado só tem crescido.

2.9.1 Plataforma de desenvolvimento Arduino

Como já exposto anteriormente por Souza (2013), o Arduino é formado por hardware e software. No hardware é onde se tem a placa física onde são gerados e finalizados os projetos. O software é uma IDE (*Integrated Development Environment*), que se conecta com computadores para a realização da programação chamada de *sketch* onde é realizado o upload para a placa com comunicação serial. O *sketch* que gera os comandos para a placa, gerando assim o funcionamento do projeto.

2.9.2 Hardware do Arduino

Conforme a **Figura 11** aborda-se a placa Arduino Uno REV3 que é baseado no ATmega328. Ele tem 14 pinos de entrada/saída digital (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação uma conexão ICSP e um botão de reset. Ele contém todos os componentes necessários para suportar o microcontrolador, simplesmente conecte a um computador pela porta USB ou alimente com uma fonte ou com uma bateria. Tem memória de 32KB (dos quais 0,5 são utilizados pelo bootloader). Também tem 2KB de SRAM e 1KB de EEPROM (que pode ser lido ou gravado com a biblioteca EEPROM). (MULTILÓGICA-SHOP, 2017)

Figura 11 - Placa Arduino Uno REV3.



Fonte: Souza (2013).

Souza (2013) explica de forma simples e de fácil entendimento sobre os conectores que servem de interface:

- 14 pinos de entrada e saída digital (pinos 0-13): Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais de acordo com a necessidade do projeto e conforme foi definido no *sketch* criado na IDE.
- Pinos de entradas analógicas (pinos A0 - A5): Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos, por exemplo, a tensão de um sensor. O valor a ser lido deve estar na faixa de 0 a 5 V onde serão convertidos para valores entre 0 e 1023.

- Pinos de saídas analógicas (pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11): São pinos digitais que podem ser programados para ser utilizados como saídas analógicas, utilizando modulação PWM, (SOUZA, 2013).

2.9.3 Software do Arduino

O software para programação do Arduino é uma IDE que permite a criação de *sketches* para a placa Arduino. A linguagem de programação é modelada a partir da linguagem Wiring . Quando pressionado o botão upload da IDE, o código escrito é traduzido para a linguagem C e é transmitido para o compilador avr-gcc é encontrado no mesmo pacote do IDE Arduino, que realiza traduções dos comandos para uma linguagem que pode ser compreendida pelo microcontrolador.(SOUZA, 2013).

Segundo Souza (2013) o IDE é uma das grandes sacadas da criação desse microcontrolador pois ele possui um alta abstração sem que o programador a conheça de fato. Ele possui uma linguagem que é só dele, mas ela foi inspirada pela a linguagem de programação C e C++

O Arduino possui ciclos que serão mais explicado a seguir:

- Conexão microcontador arduino com um computador através de entrada USB;
- Upload do sketch (programação feita pelo o usuário) para a placa;
- Reinicialização após upload;
- Execução do sketch.

Por fim o Arduino se encarregara de produzir a programação, lembrando que tem que estar ligada a qualquer fonte de energia.

O IDE do Arduino é feito para a geração de programas que vão como upload para a placa. Pinto (2011) explica que esse IDE foi desenvolvido em JAVA com características do projeto Processing na biblioteca AVR-gcc para microcontroladores. A linguagem como já citada neste trabalho é a *Wiring*

2.9.4 Linguagem wiring

O site da linguagem Wiring define como um projeto aberto iniciado por Hernando Barragán (Escola de Arquitetura e Design da Universidade de Los Andes). Wiring começou no Interaction Design Institute Ivrea, na Itália. Wiring se baseia no processing, um projeto aberto iniciado por Ben Fry (Fathom) e Casey Reas (UCLA Design | Media Arts). O processing evoluiu a partir de idéias exploradas no Grupo de Estética e Computação no MIT Media Lab.

Wiring permite a escrita de software multiplataforma para controlar dispositivos conectados a uma ampla gama de placas de microcontroladores para criar todos os tipos de codificação criativa, objetos interativos, espaços ou experiências físicas. A estrutura é cuidadosamente criada com os designers e artistas para incentivar iniciantes e especialistas de todo o mundo compartilham idéias, conhecimento e sua experiência coletiva. O roteiro inclui suporte para múltiplas arquiteturas de hardware.

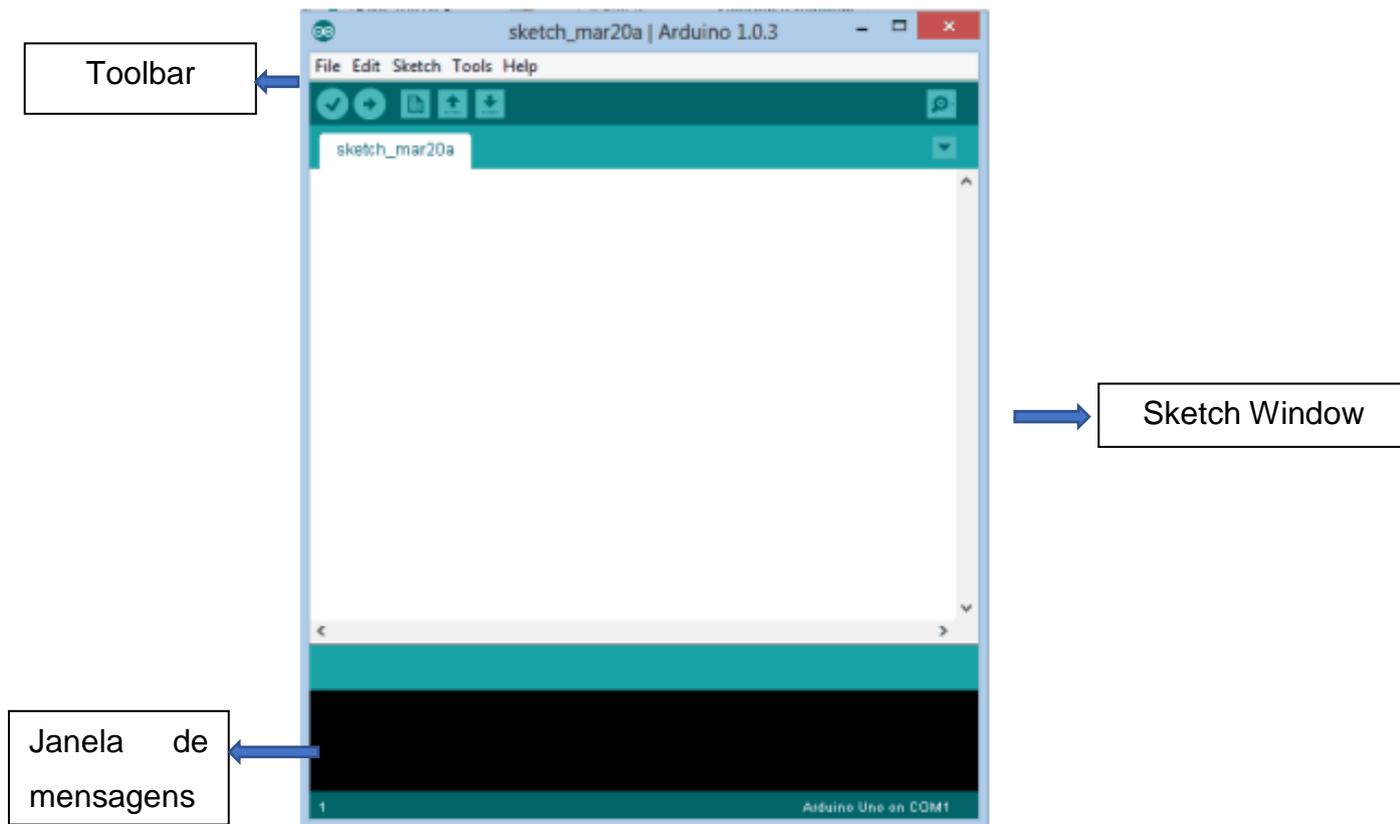
O atual AVR8 Core suporta o hardware Wiring e qualquer hardware baseado nos processadores AVR atmega. AVR Xmega, AVR Tiny, TI MSP430, Microchip PIC24 / 32 Series e STM M3 ARM.

- Integração de suporte de hardware atmel de terceiros simples
- Livre para baixar, abrir hardware
- Para GNU / Linux, Mac OS X e Windows
- Mais de 100 bibliotecas estendem o software
- Bem documentado, com muitos livros disponíveis

Para contribuir com o desenvolvimento, visite Wiring Wiki para ler as instruções para baixar o código, criando a partir de fontes, relatórios e rastreamento de erros e criando bibliotecas.

Projetos relacionados a Wiring: Processamento, Arduino.org, Arduino.cc, Energia, Fritzing. Na figura 12 podemos observar a tela do IDE. (WIRING, 2017)

Figura 12 - Software para programação.



Fonte: Souza (2013).

O IDE é composto por:

- A *Toolbar* no topo;
- O código ou a *Sketch Window* no centro; e,
- E a janela de mensagens na base.

2.9.5 Entradas digitais

Pontes (2014) grande vantagem por conter várias entradas e saídas digitais e uma interface serial USB usada para comunicação com computadores. Esse microcontrolador é AVR, arquitetura Harvard e tecnologia RISC (acrônimo de Reduced Instruction Set Computer).

A placa Arduino UNO possui 14 pinos que podem ser configurados como entrada ou saídas digitais. Estes pinos são numerados de 0 a 13.

Figura 13 - Entradas e saídas digitais da placa.



Fonte: Souza (2013).

Antes de utilizar cada um desses pinos em sua aplicação, você deve configurá-lo como entrada ou saída digital, conforme a necessidade.

Souza (2013) ajuda a compreender o conceito do Arduino através de demonstração prática de configuração, pois o Arduino possui entradas e saídas digitais projetado de fábrica, porém é necessário uma configuração por parte do usuário, configurando aquele pino como entrada ou saída. Quando um pino é configurado como entrada ele recebe um valor de alta impedância como 100 *Megohms* que é configurado automaticamente em série com o circuito, sendo assim o circuito é analisado com uma corrente baixa.

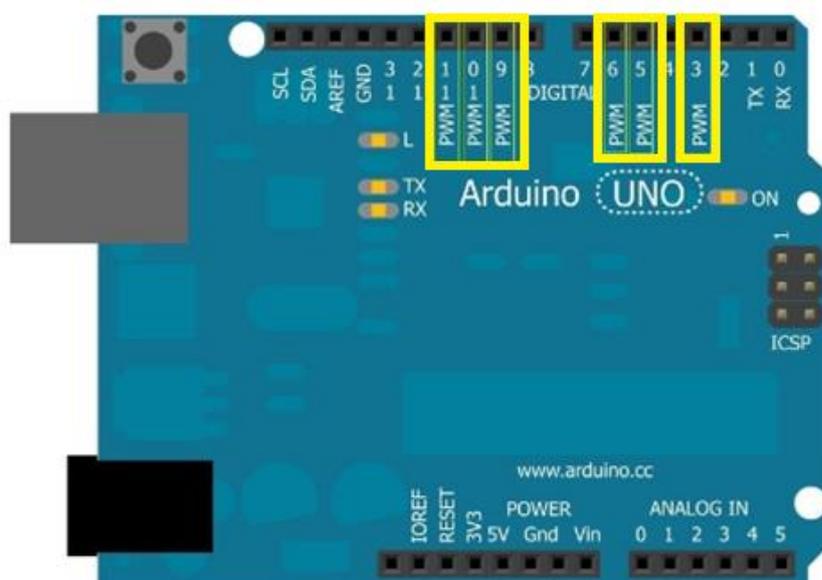
Com a alta impedância, se um pino desses é submetido como entrada digital ele está flutuando, ou seja, sem nenhuma ligação, esse pino fica com uma tensão variando, não tendo nenhum valor estável por conta do ruído elétrico ou a capacitância de entrada do pino. Uma solução para esse tipo de problema é usar um resistor pull-up com 5V ou também poderá usar um resistor *pull-down* ligado a GND.

Na configuração de saída Souza (2013), diz que ele tem uma baixa impedância. O pino quando está nessa situação pode gerar corrente para um determinado circuito externo de acordo com a necessidade que o usuário tem para desenvolver seu projeto. A corrente máxima permitida é de 40 mA, mas a soma de correntes não poderá ser maior que 200mA. Com correntes maiores poderá gerar um curto-circuito que pode queimar o transdutor de saída e até queimar toda a placa do Arduino.

2.9.6 Saídas PWM

As saídas do tipo PWM, que significa *Pulse Width Modulation* é usado para sistemas digitais com variância como o valor médio de onda periódica. Esse modelo de sistema serve para equilibrar a frequência de onda quadrada fixa e podendo também variar o tempo do sinal em que se mantem em nível lógico alto. Souza (2014), explica que essa variação de tempo é conhecida no inglês como *duty cycle* que é o ciclo ativo em que a onda se forma.

Figura 14 - Arduino UNO.



Fonte: Souza (2014).

Arduino Uno possui 6 pinos para saída PWM (3, 5, 6, 9, 10, 11). Para auxiliar na manipulação desses pinos a plataforma possui uma função que auxilia na escrita de valores de *duty cycle* para esses pinos.

3 METODOLOGIA

A proposta desse trabalho é a criação de um equipamento que tenha um baixo custo sem ter sua eficácia diminuída ou comprometida. Um sismógrafo é usado para detecção de vibrações no solo e neste trabalho será mostrada sua funcionalidade na área de perfuração e desmonte de rocha, mais especificadamente no desmonte de fato.

O desmonte que é um dos processos usado na mineração para a fragmentação de rocha é onde ocorrem às vibrações que são as de interesse para este estudo, é neste momento onde será usado o equipamento para medições, estudo e através dos resultados será possível fazer adequação.

Hoje em dia existem muitas marcas nacionais que desenvolvem tecnologia de ponta para medições de vibrações produzidas pelo o solo através de desmontes, porém são as marcas internacionais dominam o mercado consumidor com sismógrafos.

Um dos pontos não muito atrativos nesses equipamentos é o alto valor em que ele é comercializado, tanto os nacionais quanto os de marcas internacionais tem preços exorbitantes, deixando claro que equipamentos como esses costumam ter valores altos já que a sua tecnologia é avançada.

Como dito anteriormente, o alto valor em que esses equipamentos são comercializados favorece, a ideia de um produto que se adeque a todas as normas, com tecnologia necessária para medições e com um baixo preço para ser comercializado.

As marcas mais conhecidas no mercado internacional são a Geosonics, InstanTEL e nacional Ztex e White.

3.1 ANALISE DO ESTUDO

Com análise no tema deste trabalho será desenvolvido o método experimental, onde será determinado o objeto de estudo selecionando variáveis que serão analisadas de forma rigorosa, realizando testes que comprovem a funcionalidade do objeto. Por meio de análise quantitativa do tipo descritiva e explicativa com testes de confiabilidade realizados em laboratórios. Este trabalho

será desenvolvido um protótipo que analise dados reais gerando gráficos provando, caso existam, resultados confiáveis.

3.2 OBJETO A SER ESTUDADO

O objetivo desse trabalho é desenvolver um protótipo de um sismógrafo usando a plataforma microcontroladora Arduino, usando testes experimentais e de confiabilidade para que o mesmo funcione com a mesma qualidade e resultados positivos que se espera.

3.3 LOCAL REALIZAÇÃO DA PESQUISA

No primeiro momento da pesquisa foi feito a compra de todos os componentes que será necessário para a montagem eletrônica do circuito. Os testes necessários para a realização desse trabalho foi desenvolvido em campo na chácara Paz no Km 8,5. Com uma estrutura montada exclusivamente para a realização do teste de qualidade do sinal e do teste de hipóteses.

3.4 PROCEDIMENTO

O procedimento da pesquisa será desenvolvido da seguinte maneira. Em primeiro selecionar e comprar todos os componentes que irá usar, esses componentes são: protoboard, placa Arduino Uno Rev3, fios para conexão (jumper), conjuntos de LED's e sensor de vibração.

Desenhar e executar o circuito usando o protoboard para toda a montagem e testes, evitando assim um curto-circuito na placa Arduino. Após aprovado o circuito o mesmo será executado na placa Arduino usando ainda assim o protoboard para auxiliar já que esse trabalho é um protótipo de um sismógrafo.

O próximo passo será a elaboração da programação usando o programa Arduino em um computador, lembrando que o Arduino possui uma plataforma própria para desenvolvimento de programação chamada IDE. Com a programação também será realizada testes.

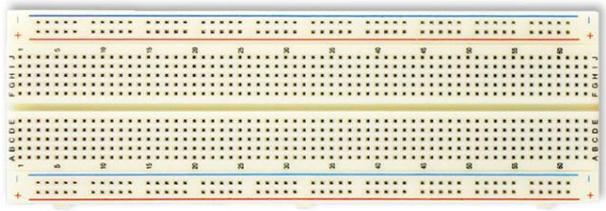
Este trabalho iremos apenas utilizar o sistema de entrada do sinal, já que esse procedimento por si só já tem uma grau de complexidade e demanda tempo. A

ideia é que consiga realizar testes de modo que ele consiga fazer uma leitura dos sinais que estão entrando para que esses sinais com um valor lógico possa ser usado para desenvolver gráficos com o auxílio do Excel.

3.4.1 Componentes utilizados

Os componentes utilizados nesse trabalho serão os expostos no **(Quadro 3)**.

Quadro 3 - Componentes utilizados.

 <p>Protoboard - (DIDÁTICA, 2017)</p>	 <p>Placa Arduino - (COMPHAUS, 2017)</p>
 <p>Fios de conexão (Jumper) - (LIVRE, 2017)</p>	 <p>LED's - (TEXTOS, 2017)</p>
 <p>Sensor de vibração SW-420 - (FILIPEFLOP, 2017)</p>	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.4.2 Métodos a ser desenvolvido em laboratório

Os métodos usados será método de experimentação e confiabilidade. Para a parte eletrônica os testes serão feitos através de multímetros da marca Minipa modelo ET-1100.

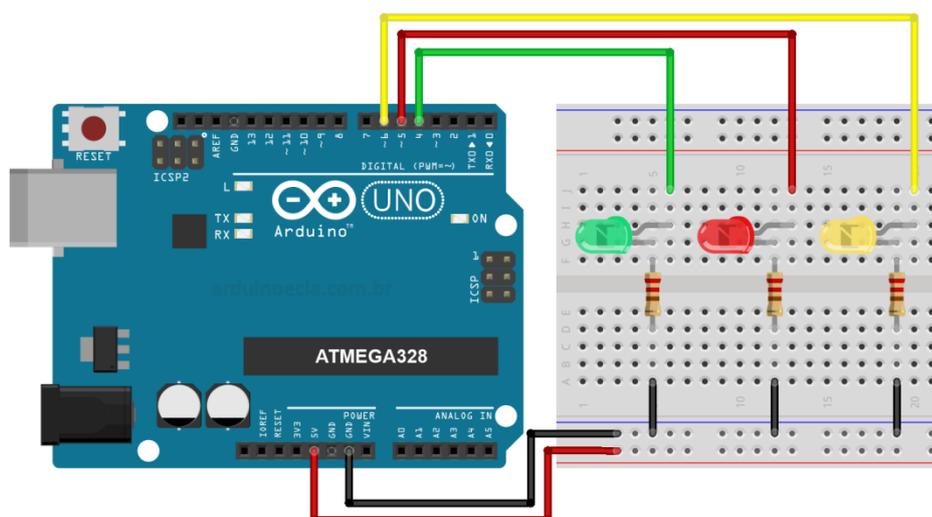
Figura 15 - Multímetro modelo ET-1100.



Fonte: Loja do Mecânico (2000).

Os teste de confiabilidade serão feitos através de tentativas e erros, a ideia é usar 3 LED's para indicação de intensidade do sinal da onda. Com nível baixo apenas o LED verde acenderá, intensidade média o LED amarelo acenderá e intensidade alta o LED vermelho acenderá. A figura 16 ilustrativa demonstra um exemplo do layout básico do Arduino mais protoboard.

Figura 16 – Layout básico do Arduino mais protoboard.



Fonte: Souza (2014).

3.4.3 Análise de valores usando multímetro

O multímetro (também chamado de multiteste ou mitter) é o aparelho mais usado na bancada de eletrônica tanto para quem realiza consertos, quanto para quem faz experiências com circuitos e componentes eletrônicos. Tal aparelho é usado para medir tensão, corrente e resistência elétrica, além de outras medidas menos importantes.

Existem dois tipos: analógicos com ponteiro e digitais com visor de cristal líquido. Para os modelos analógicos, os recomendados são os que têm as escalas de X1 e X10K e sensibilidade (precisão) de pelo menos 20 K Ω /V em DCV. Este número vem no canto inferior esquerdo do painel. No caso dos digitais, as escalas dependem da necessidade, porém seria interessante se ele puder ter um freqüencímetro (MHz) ou um capacitímetro (nF ou μ F).

O multímetro ou multiteste. (BURGOS, 2017)

É o aparelho usado para medir corrente, tensão e resistência elétrica. A função do multiteste é escolhida pela chave:

- AMPERÍMETRO (DCmA) ou (DCA) - Para medir corrente contínua;
- VOLTÍMETRO (DCV) – Para medir tensão contínua;
- ACV – Para medir tensão alternada;
- OHMÍMETRO (Ω) – Para medir resistência e testar componente.

Como medir tensão contínua

Coloque a chave do multímetro na função de DCV, escolha a escala mais próxima à cima da tensão a ser medida, ponta vermelha no ponto de maior tensão e a preta no de menor tensão. (BURGOS, 2017)

Figura 17– Medida de tensão numa bateria de 9V



Fonte: (BURGOS, 2017)

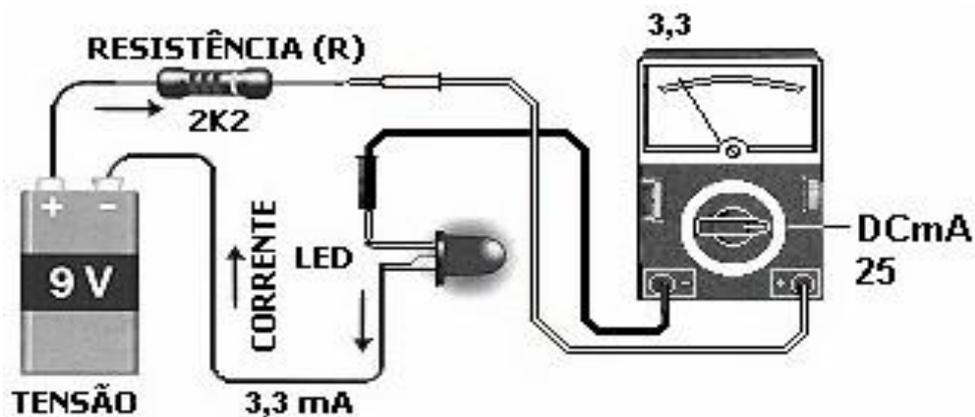
Como medir tensão alternada

Coloque na função de ACV, escala mais próxima acima da tensão, porém não há polaridade para colocar as pontas. A leitura é da mesma forma que a função DCV. (BURGOS, 2017)

Como medir corrente elétrica

Coloque na função DCmA ou DCA. Corte uma parte do circuito, coloque o multímetro em série com a ponta vermelha mais próxima do +B. a medida de corrente não é usada nos consertos, devido ao trabalho de interromper o circuito e aplicar as pontas. (BURGOS, 2017)

Figura 18- Corrente elétrica



Fonte: (BURGOS, 2017)

3.4.4 Estudo de viabilidade de mercado

Análise econômica deste trabalho é em relação aos valores dos equipamentos comerciais que existe no mercado com o valor final deste protótipo.

As análises serão realizadas em três esferas: econômica e técnica e que irão ajudar para o melhor resultado deste trabalho.

Quadro 4 - Componentes da análise de viabilidade.

Componente	Valor (R\$)
Protoboard	R\$ 89,90
Jumpers – macho/macho 10cm	R\$ 25,00
Placa Arduino Uno Rev3	R\$ 165,00
LED's	R\$ 40,00
Sensor de vibração SW-420	R\$ 32,00
Resistores	R\$ 30,00
TOTAL = 381,90	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.4.5 Análise de dados em campo

Com o circuito montado, os testes feitos em campos serão testes de impactos. Iremos usar sacos de areia para fazer os testes de impactos, sacos de areia pesados e medidos de tamanhos diferentes. Esse saco de areia será jogado diretamente sobre um terreno de superfície plana com alturas variadas e pesos diferentes com uma distância igual para testes iniciais. O valor gerado por esse impacto será registrado e armazenado. Esse teste será feito três vezes com

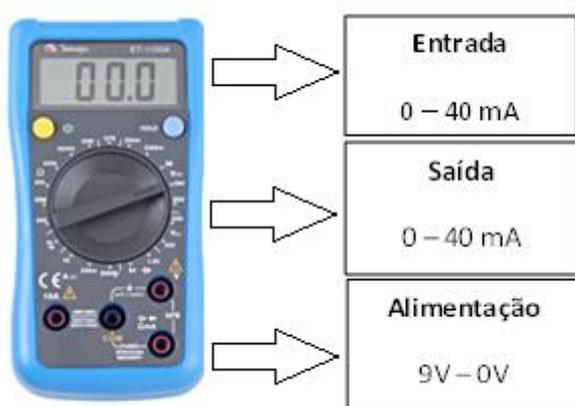
tamanhos de sacos de areia diferentes, a ideia é gerar três tipos de impactos um leve, um médio e um grande essas variações será mostrada no protótipo com o acendimento dos LEDs.

Todos os valores gerados serão levados para o Excel para gerar gráficos. Para a geração de gráficos iremos ter as variáveis que são: o peso do saco de areia usado para cada teste, à altura que ele estará da superfície plana e a distância até onde estará o protótipo.

3.4.6 Avaliação de confiabilidade

Nessa avaliação será onde iremos testar a confiabilidade dos valores adquiridos pelos os testes. Esse teste de confiabilidade será feito através do próprio protótipo quando ele conseguir diferenciar as intensidades dos impactos em leve, médio e grande. A ideia também é que ele consiga nessa primeira etapa registrar o valor dessas intensidades e armazena-las para uma a composição de dados que serão usados no Excel. Lembrando que esse projeto terá continuações e nesse primeiro momento iremos trabalhar apenas com os dados de entrada. Usaremos dois multímetros para testar os valores de saída da alimentação, evitando que ocorra qualquer tipo de curto-circuito conforme mostrado na **Figura 17**. O uso de dois multímetros de modelos e marcas diferentes (Minipa e Fluke) é com a intenção de aumentar a confiabilidade dos valores.

Figura 19-Teste de confiabilidade com multímetro



Fonte: Elaborada pelo autor

3.5 MONTAGEM DO CIRCUITO

A montagem do circuito é um dos primeiros passos do protótipo a ser feito, após pesquisa para a ligação correta de cada componente, pois qualquer ligação errada pode gerar curtos-circuitos e perda total de componentes.

3.5.1 Componentes

O circuito foi todo projetado e executado para a montagem em protoboard por se tratar de um protótipo inicial de pesquisa. A montagem conta com três resistores de 370 ohm's, três LED's das cores vermelho, amarelo e verde, com jumper's de cores varias, placa Arduino UNO REV3 e sensor de vibração SW-420.

3.5.2 Ligação eletrônica

O LED possui duas pernas para a ligação correta, a menor é ligada uma das pernas do resistor e a outra perna do resistor é ligada a alimentação, a alimentação é ligada em paralelo com os outros LED's através de um jumpers e ligado ao GND da placa Arduino. A perna menor do LED é ligada a pinagem da placa Arduino através de um jumper.

O sensor de vibração é um componente muito sensível é necessita de atenção e domínio para a sua ligação evitando a perda total do sensor. Sua ligação é feita com a alimentação ligada ao GND da placa, o VCC ao 5V da placa e o DO a pinagem da placa Arduino.

3.6 PROGRAMAÇÃO

A programação da placa foi realizado no IDE Arduino 1.8.5 e seu Upload é realizado através do cabo USB e sua ligação direta com o monitor serial que mostra em tempo real a intensidade do impacto da onda.

```
int LED_Pin1 = 9 ;  
int LED_Pin2 = 8 ;  
int LED_Pin3 = 10 ;  
int vibr_Pin = 3 ;
```

```

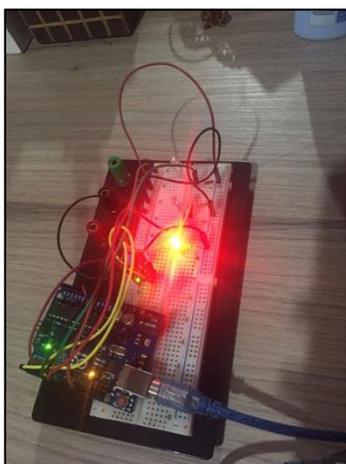
int redLimit = 10000;
int yellowLimit = 1000;
int greenLimit = 100;
void setup ( ) {
  pinMode ( LED_Pin1 , OUTPUT ) ;
  pinMode ( LED_Pin2 , OUTPUT ) ;
  pinMode ( LED_Pin3 , OUTPUT ) ;
  pinMode ( vibr_Pin , INPUT ) ; // configura a entrada vibr_Pin para medir
  Serial .begin ( 9600 ) ; // init serial 9600
  // Serial.println ("Demonstração de vibração");
}
long TP_init() {
  long measurement = pulseIn (vibr_Pin, HIGH);
  return measurement;
}
void loop() {
  long measurement = TP_init();
  Serial.println(measurement);
  if (measurement > redLimit) {
    digitalWrite(LED_Pin1, HIGH);
    digitalWrite (LED_Pin2, LOW);
    digitalWrite (LED_Pin3, LOW);
    delay (2000);
  }
  else {
    if (measurement > yellowLimit) {
      digitalWrite(LED_Pin1, LOW);
      digitalWrite (LED_Pin2, HIGH);
      digitalWrite (LED_Pin3, LOW);
      delay (2000);
    }
    else {
      if (measurement > greenLimit) {
        digitalWrite(LED_Pin1, LOW);
        digitalWrite (LED_Pin2, LOW);
        digitalWrite (LED_Pin3, HIGH);
        delay (2000);
      }
      else {
        digitalWrite(LED_Pin1, LOW);
      }
    }
  }
}
}

```

3.7 TESTE PILOTO

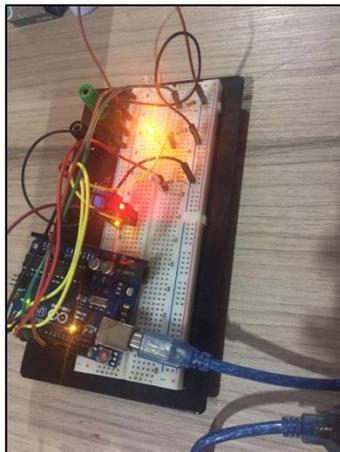
Com o circuito e a programação feita, realizou-se um teste para a análise do circuito e da programação, com uma estrutura improvisada apenas para uma confiabilidade e ajustes dos mesmos.

Figura 22 - Teste piloto LED vermelho



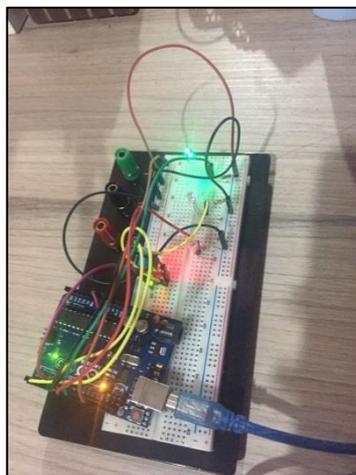
Fonte: Próprio autor.

Figura 23 - Teste piloto LED amarelo



Fonte: Próprio autor.

Figura 24 - Teste piloto LED verde



Fonte: Próprio autor.

3.8 OBTENÇÃO DOS DADOS

O aquisição dos dados foi realizado na chácara Paz localizada no km 8,5 na TO 010 sentido lajeado nas proximidades de Palmas-TO. Com uma estrutura montada para a realização dos testes usando pesos de tamanhos diferentes, com mesma altura para o impacto e a mesma distância. Para que a onda de impacto

fosse criada usou-se sacos de areia com pesos de 1,5kg 1 kg e 500g. No primeiro teste a ideia é apenas testar a funcionalidade do equipamento para que possamos assim fazer teste da qualidade do sinal.

Nesse teste inicial usamos um cano PVC de 1,5m e duas talas do mesmo tamanho, definimos que a altura para a realização do teste seria de 1,10 onde suspenderíamos os sacos com um barbante e soltando pausadamente um a um para que o protótipo tivesse o tempo de registrar no monitor serial cada um dos valores. Os dados são registrados no monitor serial que é uma das funções que o próprio IDE do Arduino 1.8.5 nos fornece.

No segundo teste usamos apenas um peso de 1,5kg para a captação dos dados, altura de 1,10 e distância variando a 1cm começando com 34 cm. O teste foi realizado 20 vezes testando a qualidade do sinal para aquisição de dados para testes de hipóteses.

O protótipo foi instalado com segurança juntamente com o notebook a 20cm de distância onde a onda mecânica era gerada, o equipamento usa um cabo USB ligado ao notebook para a alimentação do circuito e também para a transferência instantânea dos dados para o monitor serial.

Figura 25 – Estrutura para testes.



Fonte: Próprio autor.

4 RESULTADOS

Com os testes feitos e com os dados, trataremos esses dados através do software Excel, onde analisaremos testes de qualidade do sinal e testes de hipóteses.

4.1 TESTE DE QUALIDADE DO SINAL

Realizado no dia 29/10/2017 na chácara Paz as 6:30 da manhã, esse teste teve sua eficiência testada e aprovada. Neste teste fizemos com que de acordo com os tamanhos diferentes dos pesos as luzes condizentes se acendessem.

O protótipo foi instalado a 20 cm do local onde a onda mecânica de impacto foi gerada, com o maior impacto definido na programação redLimit como acima de 10.000 a luz vermelha acendia, com o impacto médio definido como yellowLimit acima de 5000 a luz amarela acendia e o verde como greenLimit maior que 1000 o LED verde acendia.

Figura 26 – Pesos usados para testes.



Fonte: Próprio autor.

Figura 27 – Teste de qualidade do sinal



Fonte: Próprio autor.

Valores máximos			
	Valor 1	Valor 2	Valor 3
Massa	1,499 kg	1,001 kg	504 g

	1,40m	1,30m	1,20m	Valores médios		
	Valor 1	Valor 2	Valor 3			
Altura	1,40m	1,30m	1,20m			
Distância	20cm	20cm	20cm			
Resultado	28.981	25.336	11.074			
Massa	1,499 kg	1,001 kg	504 g			
Altura	1,40m	1,30m	1,20m			
Distância	20cm	20cm	20cm			
Resultado	4.686	3.930	2.776			

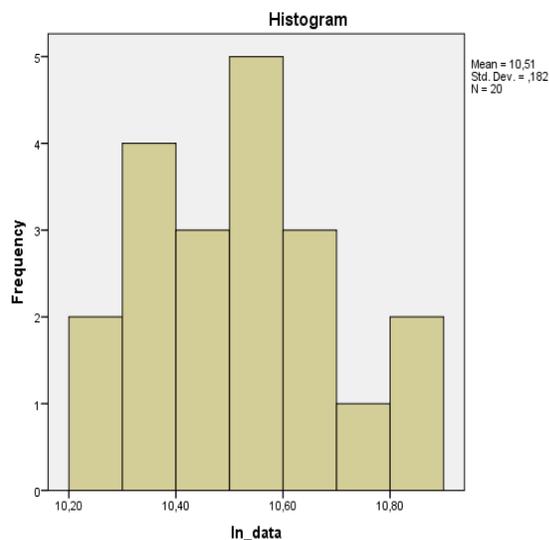
Valores mínimo			
	Valor 1	Valor 2	Valor 3
Massa	1,499 kg	1,001 kg	504 g
Altura	1,40m	1,30m	1,20m
Distância	20cm	20cm	20cm
Resultado	3.513	1.773	1.411

4.2 TESTE DE HIPÓTESES

Usaremos o teste de hipóteses de Shapiro-Wilk teste de normalidade estatístico e matemático usado para definição de um conjunto de elementos de uma variável aleatória. Neste caso ele segue uma distribuição log-normal representada por $Y = e^X$ com parâmetros de $\mu = 0$ e $\sigma = 1$.

No histograma abaixo, podemos observar como os dados são lançados e juntamente com o teste de Shapiro-Wilk a comprovação da hipótese proposta.

Figura 28 – Histograma



Fonte: Vinicius M

Uma vez que os dados obtidos uma variável quantitativa continua e que trabalha com SPSS constituem uma pequena amostra ($n=20$), para se verificar o ajustamento dos dados á distribuição normal aplica-se o teste (de aderência a normalidade) Shapiro-Wilk.

H_0 = O dado obtido segue uma distribuição normal.

H_a = O dado obtido não segue distribuição normal.

Não rejeitar H_0 se, $Sig > \alpha = 0,05$

Rejeitar H_0 (aceitar H_a) se, $Sig < \alpha = 0,05$

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
In_data	,109	20	,200*	,962	20	0,595

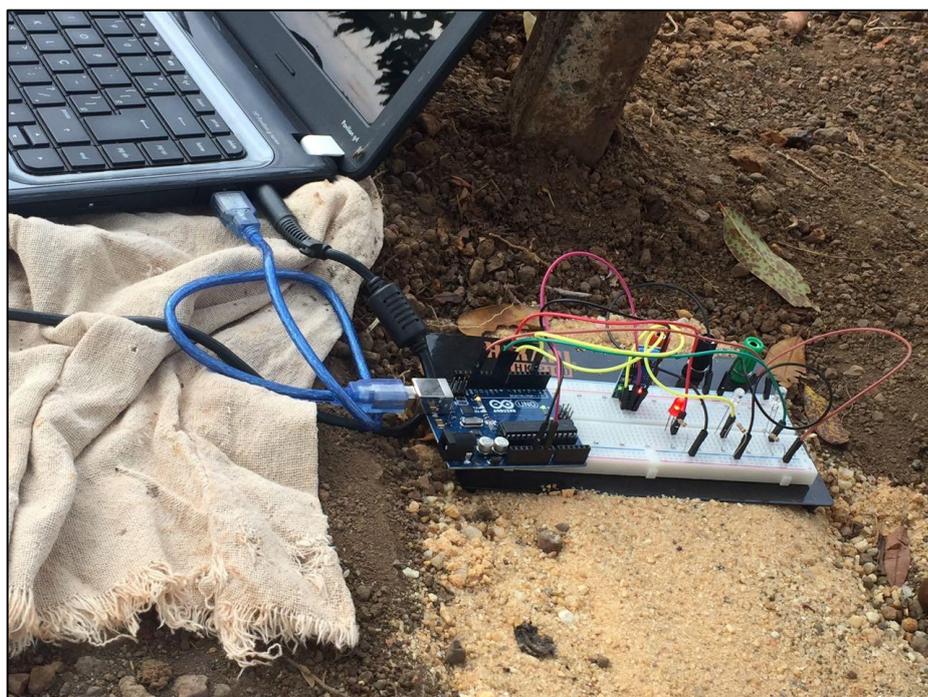
Como $sig = 0,595 > \alpha = 0,05$ então não se rejeita o H_0 . (LAUREANO, 2013)

Comprovado que o teste de hipóteses é aceito nesse caso para a veracidade dos dados obtidos através dos teste realizado. Abaixo segue a tabela com todos os dados realizado no segundo teste no dia 30/11/2017.

Peso	Distância	Altura	Resultado	In resultados
1720 kg	34 cm	1,10 m	40230	10,60236826
1720 kg	35 cm	1,10 m	39497	10,58398
1720 kg	36 cm	1,10 m	34587	10,45123317
1720 kg	37 cm	1,10 m	26950	10,20173858
1720 kg	38 cm	1,10 m	27088	10,2068461
1720 kg	39 cm	1,10 m	30866	10,33741053
1720 kg	40 cm	1,10 m	32035	10,37458433
1720 kg	41 cm	1,10 m	49778	10,8153284

1720 kg	42 cm	1,10 m	47470	10,76785321
1720 kg	43 cm	1,10 m	38047	10,54657752
1720 kg	44 cm	1,10 m	39404	10,58162261
1720 kg	45 cm	1,10 m	33587	10,42189437
1720 kg	46 cm	1,10 m	49135	10,80232689
1720 kg	47 cm	1,10 m	39456	10,58294141
1720 kg	48 cm	1,10 m	34887	10,45986955
1720 kg	49 cm	1,10 m	30225	10,31642468
1720 kg	50 cm	1,10 m	36400	10,50232405
1720 kg	51 cm	1,10 m	43098	10,67123187
1720 kg	52 cm	1,10 m	30320	10,31956284
1720 kg	53 cm	1,10 m	40191	10,60139837

Figura 29: Montagem do protótipo em campo



Fonte: Próprio autor.

Outros testes de hipóteses também foram realizados para a confiabilidade dos resultados.

Teste	Resultado
Kolmogorov-Smirnov test:	$P > 0.15$
Anderson-Darling test:	$P = 0.741$
Lilliefors-van Soest test:	$P > 0.20$

Cramer-von Mises test:	$P = 0.766$
Ryan-Joiner test:	$P > 0.10$
d'Agostino-Pearson test:	$P = 0.67$
Shapiro-Wilks test:	$P = 0.597$

5 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A ideia inicial desse trabalho como um protótipo que tivesse a capacidade de analisar e detectar a intensidade da onda, ele ainda não cumpre o papel final dele como sismógrafo, mas conseguimos provar matematicamente que as ondas captadas por ele são ondas de vibrações.

Para que se cumpra o projeto final ainda necessita de testes reais com desmontes e também testes de acordo com as normas regulamentadoras. Necessita-se de uma carcaça adequada, resistente a água a impactos e um design.

Esse trabalho será desenvolvido pela autora desse trabalho em conjunto com a O-pitblast e a Universidade do Porto na cidade do Porto – Portugal no doutorado.

6 CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho é desenvolver um protótipo de um sismógrafo usando a plataforma microcontroladora Arduino, a ideia é que se projete futuramente um sismógrafo com um baixo custo para entrar em concorrência no mercado, já que o seu diferencial será o valor.

Neste trabalho foi realizado um teste piloto, apenas para que fosse feitos ajustes na programação e na eletrônica do projeto. Foi realizado um teste de qualidade do sinal, onde foram usados pesos de tamanhos diferentes para que a intensidade da onda mecânica fosse reconhecida no monitor serial e que os LEDs correspondentes ao limite estipulado na programação acendessem. Para a comprovação dos dados gerados pelo protótipo usou-se um teste de hipóteses,

nesse teste consegue-se provar matematicamente que os valores gerados são provenientes de uma vibração, esse teste se chama Shapiro-Wilk. Outros testes de hipóteses também foram anexados como tabela neste trabalho.

Então assim, conseguimos ter a primeira etapa desse projeto concluída em forma de protótipo e com todos os seus dados comprovados. Esse trabalho terá continuação até que seu objetivo principal seja alcançado, lembrando que esse trabalho ainda necessita de muitos testes e adequações de normas reguladoras para que se possa ser inserido no mercado.

5 REFERÊNCIAS

ARDUINO. Buy. 2017. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/>>. Acesso em: 17 maio 2017.

BERNADO, Pedro; GAMA, Carlos Dinis da. **SUGESTÕES PARA MELHORIA DA NORMA PORTUGUESA DE CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM CONSTRUÇÕES**. [s. n.], Portugal, p.1-10, set. 1998.

BURGOS, Luis Carlos. **Treinamento de eletrônica básica**. Disponível em: <lburgos23@terra.com.br>. Acesso em: 19 jun. 2017.

CIA, Arduino e. **Medindo a intensidade do som com o sensor KY-038**. 2015. Disponível em: <<http://www.arduinoocia.com.br/2015/07/sensor-de-som-ky-038-microfone-arduino.html>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

COMPHAUS. Arduino Uno R3. 2017. Disponível em: <<http://comphaus.com.br/home/?wpsc-product=arduino-uno-r3>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

DIDÁTICA, Eletrônica. PROTOBOARD. 2017. Disponível em: <<http://www.eletronicadidatica.com.br/protoboard.html>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

dBi. (s.d.). **"Sismógrafo - o que é"**. Obtido em Março de 2017, <https://www.dbi.pt/sismografo-o-que-e/>

ELLIOTT, Ron J.; GOUMANS, Corry. **Bridge Demolition in an Environmentally Sensitive Area**. In: ANNUAL CONFERENCE ON EXPLOSIVES AND BLASTING TECHNIQUE, 24., 1998, New Orleans, Louisiana, U.s.a.. Bridge Demolition in an Environmentally Sensitive Area. New Orleans, Louisiana, U.s.a.: Copyright © 2000 International Society Of Explosives Engineers, 1998. p. 1 - 17.

FILIPEFLOP. **Acelerômetro e Giroscópio 3 Eixos 6 DOF MPU-6050**. Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-10fd9f-acelerometro-e-giroscopio-3-eixos-6-dof-mpu-6050.html>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

GIRAUDI, Alessandro; CARDU, Marilena; KECOJEVIC, **Vladislav**. **An Assessment of Blasting Vibrations: A Case Study on Quarry Operation**. American Journal Of Environmental Sciences. Park, Pa, p. 468-474. jun. 2009.

IRIS.Incorporated Research Institutions for Seismology. 2017. Disponível em: <<https://www.iris.edu/hq/#>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

Incorporated Research Institutions for Seismology, I. (s.d.). **Como Trabalha um Sismógrafo?** Washington, DC.

INSTANTEL. **Minimate Pro4.2017.** Disponível em: <<http://www.instantel.com/products/MinimatePro4.aspx>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

JUDD, Bob. Using **Accelerometers in a Data Acquisition System**. 2008. Disponível em: <http://www.ueidaq.com/media/static/apps/appnote-029_accel.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2008.

KEAREY, Philip; BROOKS, Michael; HILL, Ian. **Geofísica de exploração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 431 p.

LAUREANO, Raul M. S.. **TESTES DE HIPÓTESES COM O SPSS: O MEU MANUAL DE CONSULTA RÁPIDA**. 2. ed. Lisboa: Edições Silabo, Lda, 2013.

LOJA DO MECÂNICO (Rio de Janeiro). **Loja do Mecânico. Multímetro Digital ET-1100A. 2000.** Disponível em <<http://www.lojadomecanico.com.br/produto/72162/3/47/multimetro-digital-et-1100a-minipa-et-1100a>>. Acesso em: 20 maio 2017.

LIVRE, Mercado. Kit 65 Fios Jumper Sortidos Tamanho Variado P/ Protoboard. 2017. Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-704630682-kit-65-fios-jumper-sortidos-tamanho-variado-p-protoboard-_JM>. Acesso em: 18 jun. 2017.

LLERA, D. Jose Maria Pernia; JIMENO, D. Carlos Lopez; URBINA, D. Fernando Pla Ortiz; JIMENO, D. Emilio Lopez. de. **MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS**. Madrid: Instituto Geologico y Minero de España, 1987. 464 p.

MULTILÓGICA-SHOP. **Arduino Uno R3**. 2017. Disponível em: <<https://multilogica-shop.com/arduino-uno-r3>>. Acesso em: 16 jun. 2017

MCRBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec Editora, 2011. 453 p.

MADEIRA, Daniel. **Instrumentação industrial - Sensores**. 2016. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/instrumentacao-industrial-sensores/>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

NORTE, Observatório Sismológico - Universidade de Brasília - Prédio Sg -13 - Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa; **SISMOLOGICO**, Observatório. Ondas sísmicas. 2017. Disponível em: <http://164.41.28.233/obsis/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=66&lang=pt-br>. Acesso em: 22 maio 2017

PONTES, Aline Santos de. **Desenvolvimento de um fotômetro LED-Vis portátil e microcontrolado por Arduino**. 2014. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

REED, Janice L.. **SEISMOGRAPHS – AN HISTORICAL OVERVIEW**. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF EXPLOSIVE ENGINEER, 31., 2005, SEISMOGRAPHS – AN HISTORICAL OVERVIEW. [s.n.]: Copyright © 2005 International Society Of Explosives Engineers, 2005. p. 1 - 17.

SÁNCHEZ, Ned Yamile Vásquez.**PREDICCIÓN DE LA LEY DE ATENUACIÓN, FRECUENCIA DOMINANTE Y ESPECTRO DE RESPUESTA EN VIBRACIONES PRODUCIDAS POR VOLADURAS A CIELO ABIERTA: LA LEY DE ATENUACIÓN**. 2013. 140 f. TCC (Graduação) - Curso de Ingeniería de Minas, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Arequipa, Peru, 2013.

SANCHIDRIÁN, J. Á., & MUÑIZ, E. **CURSO DE TÉCNOLOGÍA DE EXPLOSIVOS**. Madrid: Fundación Gomez Pardo, 2000

Sarsby, R. (2000). **“Environmental Geotechnics”**. Thomas Telford, Londres. Reino Unido.

SOUZA, Fábio. **Arduino - Primeiros Passos**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino/>>. Acesso em: 06 nov. 2013.

SOUZA, Fábio. **Arduino - Saídas PWM. 2014**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-saidas-pwm/>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

SOUZA, Fábio. **Arduino - Saídas PWM. 2014**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-saidas-pwm/>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

TECHNOBLAST. **GEOSONICS TECHNOBLAST.2017**. Disponível em: <<https://www.technoblast.com.br/produtos>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

TEXTOS, Portal da Oficina de. **Vaga-lumes inspiram tecnologia para a eficiência de LEDs**. 2017. Disponível em: <<http://www.comunitexto.com.br/vaga-lumes-inspiram-tecnologia-para-a-eficiencia-de-leds/#.WUf0f-vyvIU>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

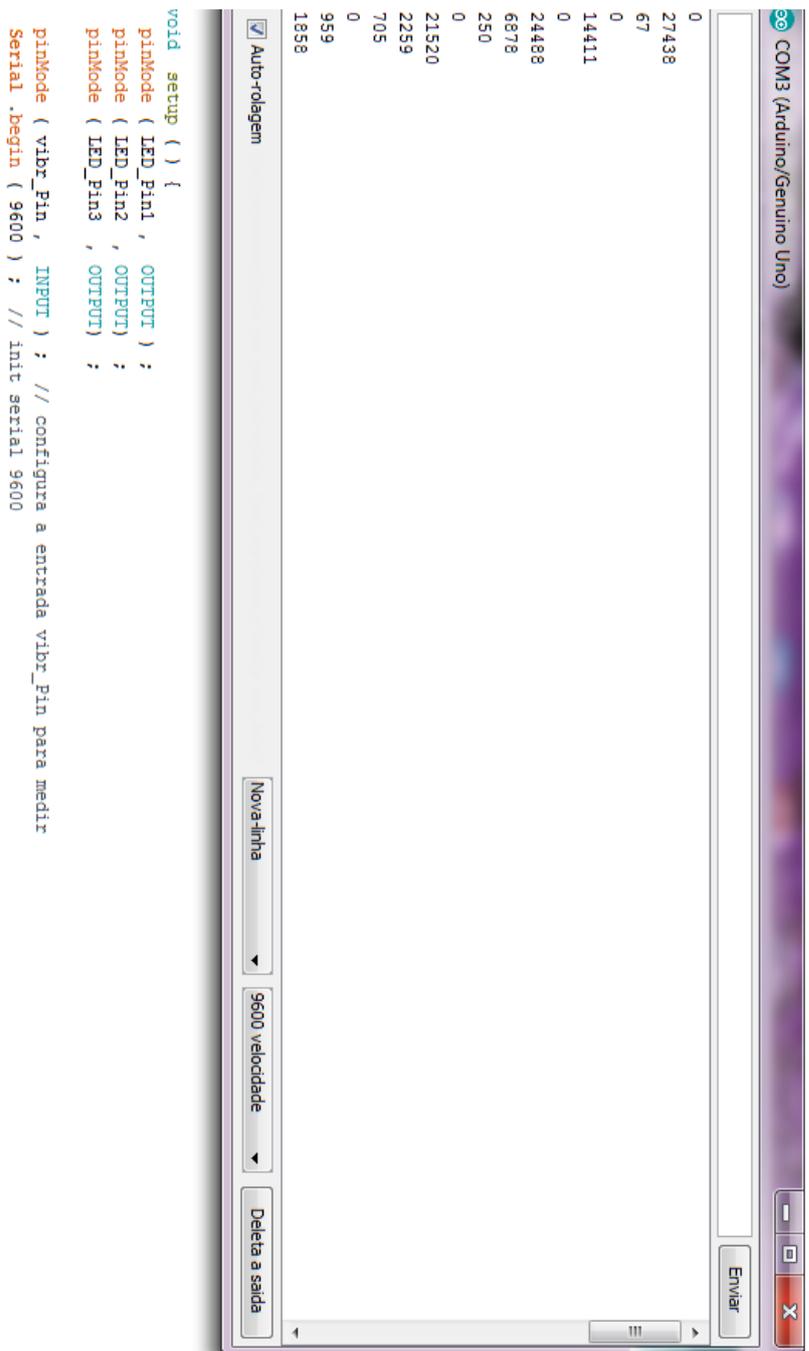
TORRES, Henrique. **MEMS - Sistemas Microeletromecânicos**. 2004. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/mems/>>. Acesso em: 10 out. 2004.

ZTEX. **SISMÓGRAFO DE ENGENHARIA.2017**. Disponível em: <<http://www.ztex.com.br/produtos/sismografo>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

WHITE. **Mini-seis**. 2017. Disponível em: <<http://www.whiteseis.com/seismograph-products/mini-seis>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

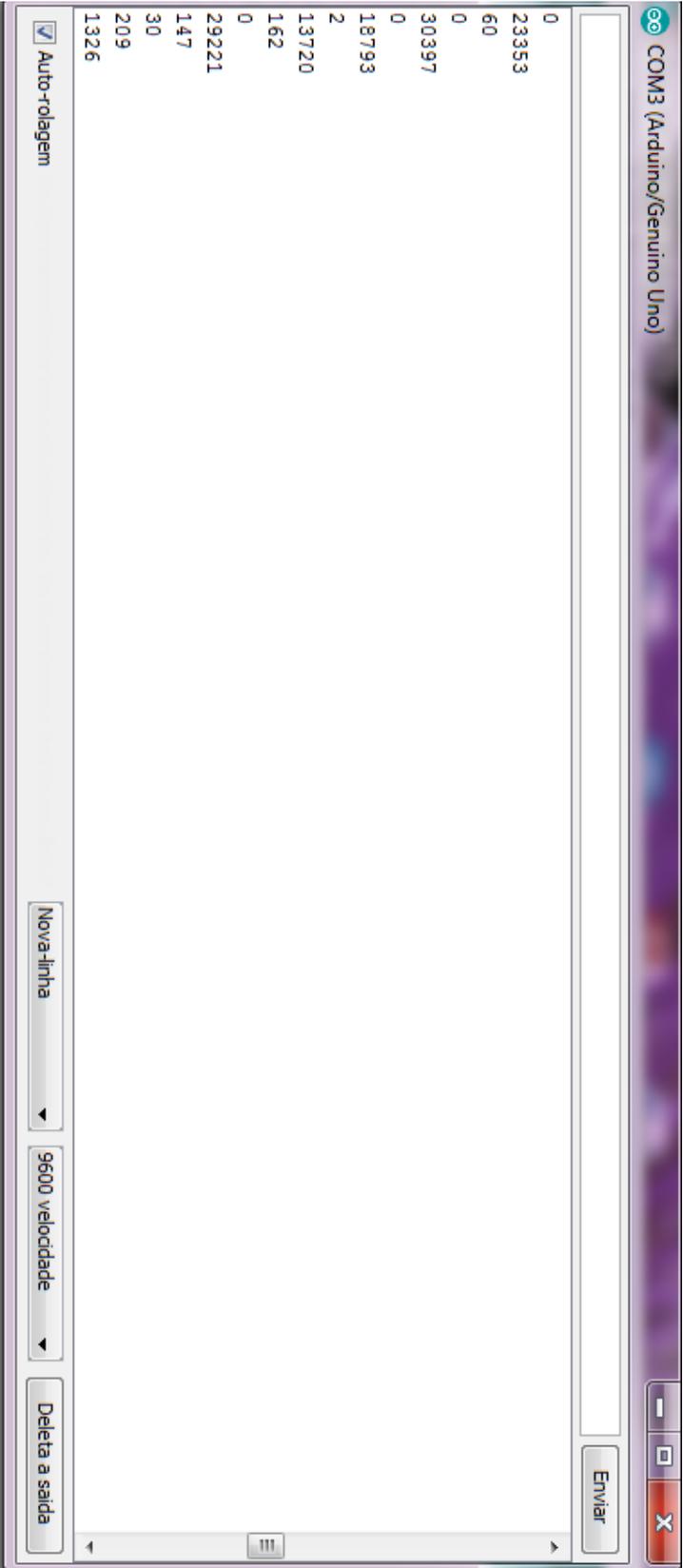
WIRING. **Wiring**. 2017. Disponível em: <<http://wiring.org.co/>>. Acesso em: 16 jun. 2017.

ANEXOS



The image shows a screenshot of the Arduino IDE's serial monitor window. The window title is "COM3 (Arduino/Genuino Uno)". The serial monitor displays a list of numbers: 0, 27438, 67, 0, 14411, 0, 24488, 6878, 250, 0, 21520, 2259, 705, 0, 959, 1858. Below the serial monitor, the code in the editor is visible, showing the setup function for pins and the serial initialization.

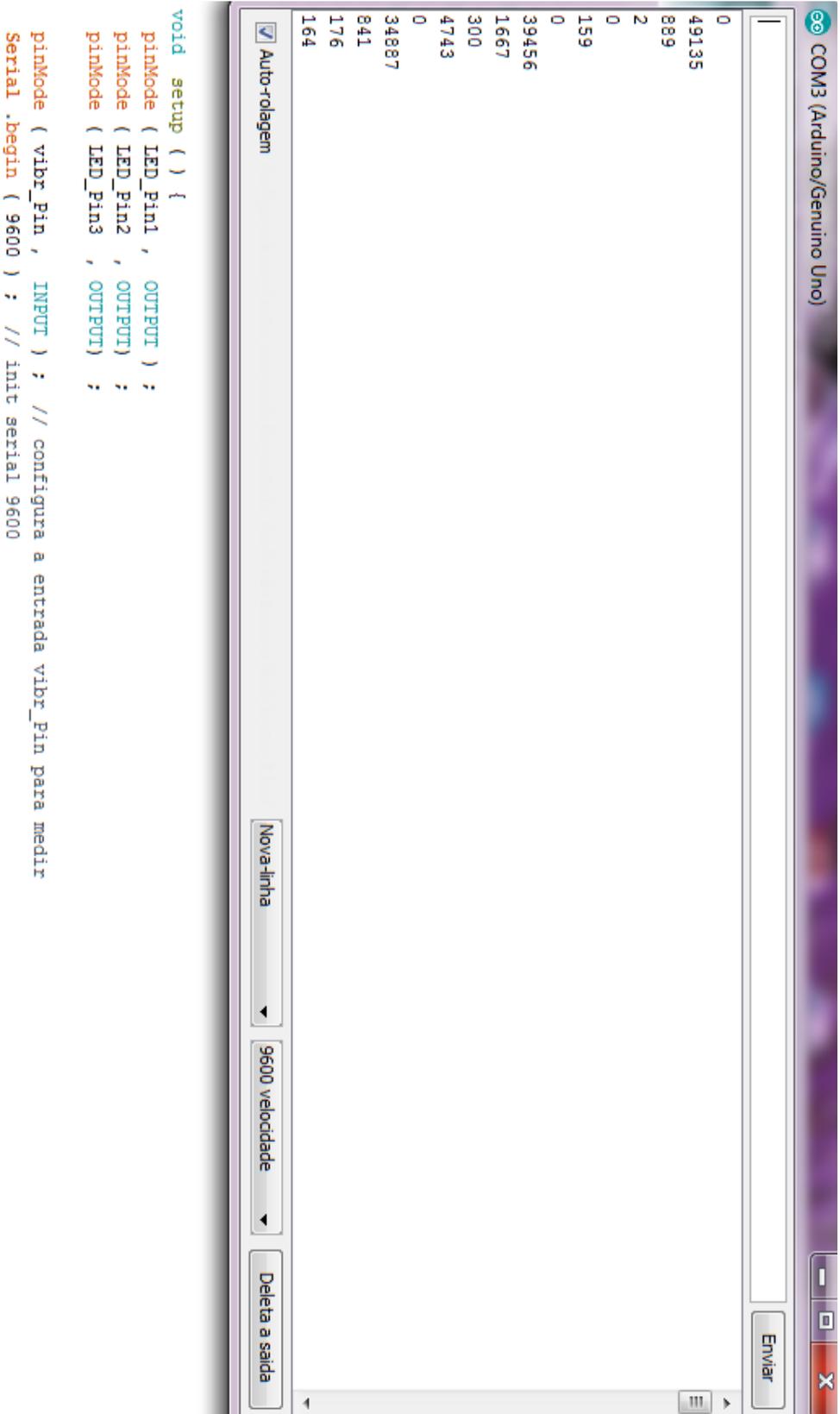
```
void setup ( ) {  
  pinMode ( LED_Pin1 , OUTPUT ) ;  
  pinMode ( LED_Pin2 , OUTPUT ) ;  
  pinMode ( LED_Pin3 , OUTPUT ) ;  
  pinMode ( vibr_Pin , INPUT ) ; // configura a entrada vibr_Pin para medir  
  Serial.begin ( 9600 ) ; // init serial 9600  
}
```



```
0
23353
60
0
30397
0
18793
2
13720
162
0
29221
147
30
209
1326
```

```
void setup ( ) {
  pinMode ( LED_Pin1 , OUTPUT ) ;
  pinMode ( LED_Pin2 , OUTPUT ) ;
  pinMode ( LED_Pin3 , OUTPUT ) ;

  pinMode ( vibr_Pin , INPUT ) ; // configura a entrada vibr_Pin para medir
  Serial.begin ( 9600 ) ; // init serial 9600
```



The screenshot shows the Arduino IDE interface. The top bar indicates the board is 'COM3 (Arduino/Genuino Uno)'. The serial monitor window displays a list of numbers: 0, 49135, 889, 2, 0, 159, 0, 39456, 1667, 300, 4743, 0, 34887, 841, 176, and 164. Below the serial monitor, the code is visible, showing the setup function for three LEDs and a serial port initialization.

```
void setup ( ) {  
  pinMode ( LED_Pin1 , OUTPUT ) ;  
  pinMode ( LED_Pin2 , OUTPUT ) ;  
  pinMode ( LED_Pin3 , OUTPUT ) ;  
  pinMode ( vibr_Pin , INPUT ) ; // configura a entrada vibr_Pin para medir  
  Serial . begin ( 9600 ) ; // init serial 9600
```