



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

XI Seminário de Extensão e Inovação  
XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica  
08 a 12 de Novembro - Guarapuava/PR



## Desenvolvimento de um sismômetro didático a partir do lixo eletrônico

### Development of an educational seismometer from electronic waste

**José Manoel Pavoski Neto**

[jucapavoski@gmail.com](mailto:jucapavoski@gmail.com)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Jeferson José Gomes**

[jefersongomes@utfpr.edu.br](mailto:jefersongomes@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

#### RESUMO

A acessibilidade a equipamentos científicos tem papel fundamental na dinamização do aprendizado e da pesquisa, mas este acesso por vezes está condicionado a materiais caros e recursos sofisticados que nem sempre estão ao alcance de instituições de ensino, estudantes e pesquisadores. Um dos objetivos principais do laboratório LER<sup>3</sup> - Lixo Eletrônico: Reduzir, Reciclar, Reutilizar, da UTFPR campus Ponta Grossa, é o desenvolvimento de protótipos e materiais didáticos a partir do lixo eletrônico recolhido de dentro da comunidade acadêmica. Aqui se apresenta a proposta de construção de um sismômetro de baixo custo cujo projeto pode ser adaptado para diversos fins, seja como apoio didático e demonstrativo de vários campos de estudo ou como um instrumento científico altamente capaz, pronto para registrar diversos tipos de vibração de toda natureza, dependendo de suas especificações. O sensoriamento desenvolvido para este dispositivo pode também ser utilizado em diversos outros equipamentos didático-científicos, como magnetômetros, sistemas massa-mola, pêndulos, entre outros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sismologia. Lixo eletrônico. Instrumentos didático-científicos.

#### ABSTRACT

Access to scientific equipment plays a fundamental part in the dynamics of learning and research, however, this access is commonly dependent on expensive materials and advanced resources that may not always be in the reach of educational institutions, students and researchers. One of the main goals of LER<sup>3</sup>, the laboratory for research on electronic waste reduction, reuse and recycling of UTFPR Ponta Grossa is the development of prototypes and educational materials as a form of repurposing e-waste collected inside the academic community. The proposal here presented relates to the building of a low-cost seismometer, the design of which can be adapted for use in different scenarios, both as a demonstrative unit for various fields of education, or as a highly capable scientific instrument, able to detect many forms of vibration of different origins, depending on its building specifications. The sensing systems developed for use in this device can be adapted to various other kinds of educational and scientific equipment, such as magnetometers, spring-mass systems, pendulums, etc.

**KEYWORDS:** Seismology. e-waste. Educational scientific equipment.



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

## DESCRIÇÃO DO ESTADO DA TÉCNICA

O sismômetro é um dispositivo de natureza geralmente mecânica ou eletromecânica capaz de detectar vibrações que chegam no solo onde se encontra instalado. Tais vibrações podem ser próximas ou distantes, e de origem natural ou artificial. Seu uso mais comum é no monitoramento de eventos tectônicos e no estudo de sismos e terremotos, mas ele também é de grande importância, em várias formas, para pesquisas estruturais, de solo e no campo da construção civil.

Segundo Wielandt (2002) em sua representação mais simples, o sismômetro é composto de uma massa cuja inércia a torna “imóvel” em relação ao movimento da terra, e esta é usada como referencial para registrar o movimento do solo abaixo de si. Um sistema perfeitamente imóvel é virtualmente impossível de se obter, logo, em aplicações práticas utilizam-se grandes massas suspensas através de pêndulos ou molas, a inércia destas massas é suficiente para referenciar-se nelas movimentos do solo. A configuração e escala destas montagens é dependente da direção, tipo e magnitude de eventos que se pretende monitorar.

Conforme Moutinho e Vasconcelos (2014, p.149-155), a sismologia pode ser usada como interligação entre diversos tópicos do currículo básico de ensino, como história da ciência, geologia e física. Optou-se pela temática deste trabalho por ser capaz de abranger diversas áreas do conhecimento, e pois em sua construção podem se tomar várias rotas para o aproveitamento de equipamentos eletrônicos e outros materiais. Os princípios eletrônicos aqui descritos poderão também ser utilizados no sensoriamento de diversos instrumentos, como magnetômetros, geofones, pêndulos, sistemas massa-mola, entre outros.

## OBJETIVOS DA INVENÇÃO

O desenvolvimento de equipamentos didáticos e científicos é parte integral da concepção do laboratório LER<sup>3</sup>, visando não apenas a construção de protótipos funcionais, mas também a elaboração de material didático capaz de auxiliar outras pessoas e instituições na reprodução dos resultados obtidos, assim aumentando a democratização de diversos instrumentos científicos que de outra forma seriam inacessíveis. Aqui se detalha a execução dos primeiros protótipos desta linha de pesquisa, cujos resultados, obstáculos e métodos encontrados e desenvolvidos serão utilizados como base para os próximos projetos do LER<sup>3</sup>.

Aqui está apresentado um sismômetro de pêndulo horizontal cujo projeto pode ser alterado para cumprir diversas funções, seja como instrumento científico de precisão, ou como um sistema didático e simplificado para o ensino de geologia, física, entre outras disciplinas, pois em seu funcionamento encontram-se os princípios de periodicidade de movimento, o processo de amortecimento de oscilações, sensoriamento por indução eletromagnética, etc. Apresentam-se também notas sobre alternativas para simplificar ou refinar o projeto, conforme observadas experimentalmente no desenvolvimento destes protótipos.

No contexto extensionista, o projeto LER<sup>3</sup> trabalha com tópicos que vão muito além do reaproveitamento do lixo eletrônico, trazendo propostas inovadoras no contexto educacional e científico. O trabalho aqui apresentado é uma faceta do que é feito no laboratório do projeto, entre outros instrumentos científicos que estão em desenvolvimento, materiais didáticos para o ensino de física e eletricidade nas escolas, a reciclagem e reaproveitamento de lixo eletrônico interna à comunidade acadêmica, e a elaboração de apostilas para a sistematização de todos estes resultados e métodos.



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

## VANTAGENS DA INVENÇÃO

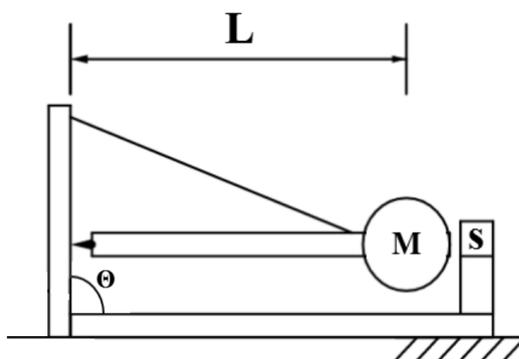
Os protótipos aqui propostos demonstram a métodos muito mais acessíveis e baratos para o registro de vibrações quando comparados a modelos disponíveis comercialmente, que além de custosos e necessitados de equipamentos adicionais, são de difícil acesso, ainda mantendo-se sensibilidade e precisão suficientes para diversos estudos. Não obstante, a possibilidade de elaboração do próprio equipamento científico apresenta ao estudante ou pesquisador a chance de calibrar e refinar este exatamente ao seu propósito de uso, além do entendimento profundo do instrumento, que só pode ser adquirido conhecendo-se todas as facetas da construção e trabalhando-se com ajustes e resolução de problemas.

## DESCRIÇÃO DETALHADA DO INVENTO

A primeira determinação feita para a elaboração deste projeto foi com relação ao tipo de sismômetro a ser construído, podendo estes tomarem formas diferentes em função da natureza dos movimentos e vibrações que deseja-se registrar. O princípio fundamental entre os modelos eletromecânicos é que, através de uma massa inercial suspensa, criar um referencial para os movimentos da terra, ou seja, a massa fica virtualmente imóvel com relação aos movimentos da terra, e a detecção de tais movimentos é feita pelo registro das variações de distância e movimento entre tal massa e um elemento fixo ao chão. Dadas as limitações físicas desta proposição, algumas escolhas precisam ser feitas para a melhor adaptação do equipamento ao seu objetivo (WIELANDT, 2002).

A massa de referência deve ser suspensa de modo que sua direção de livre movimento corra em paralelo às vibrações que deseja-se detectar, isto é, em um sismômetro composto por uma massa cuja oscilação é restrita ao eixo  $x$ , serão as vibrações com elementos neste eixo que serão registradas. Na prática, é quase impossível separar completamente as direções de oscilação, no entanto há um melhor aproveitamento dos sinais recebidos em paralelo ao movimento do detector. Há diversas formas de se criar a liberdade de movimento desejada para obter um referencial para a movimentação da terra, seja a suspensão da massa inercial por meio de molas, cordas, pêndulos rígidos ou flexíveis. Para este projeto foi escolhido o sismômetro do tipo *Lehman*, desenvolvido por James Lehman e descrito por Walker (1979), representado na figura 1, composto por um pêndulo horizontal com o fulcro apoiado contra sua estrutura e suspenso de um ponto superior nesta mesma estrutura por um cabo fino, tendo o elemento principal de seu movimento na oscilação lateral do pêndulo.

Figura 1 – Sismômetro de *Lehman*



Fonte: Autoria própria (2021)

Na figura 1 nota-se a distância  $L$  que representará o comprimento efetivo da barra oscilatória, que vai do fulcro ao centro de gravidade da massa  $M$ . O ângulo  $\Theta$ , que representa o deslocamento entre o fulcro e o ponto de apoio do fio que suporta a barra oscilante relativo à linha horizontal do sistema, deve sempre



ser menor que  $90^\circ$ , para que haja efeito da força da gravidade como elemento restaurador da posição inicial da massa. A posição do sensor é denotada por  $S$ , sendo um ponto fixo e referenciado à terra, e mantendo a independência do movimento da barra oscilante.

Com a estrutura definida, torna-se o foco o sensoriamento dos micromovimentos detectados pela parte mecânica do sismômetro. Visando simplicidade e acessibilidade na construção do equipamento, aqui apresentam-se duas propostas para a coleta destes dados, ambas necessitando baixa intervenção eletrônica, sendo sua implementação possível com materiais disponíveis facilmente, reaproveitados ou adquiridos a baixo custo. Uma permite o registro das micro vibrações detectadas pelo dispositivo, e a outra, as grandes oscilações da barra, que são úteis para estudo do estado de amortecimento do sistema, frequência natural, etc. No desenvolvimento do sensoriamento é preciso considerar novamente o princípio básico de funcionamento do sismômetro: a medição dos movimentos e variações entre um referencial “estático” e a terra. Por tratar-se de um sistema muito delicado, tais medições devem ser feitas sem contato físico entre o referencial e o sensor, de forma a garantir a máxima liberdade de movimento entre todas as partes.

A primeira proposta consiste no sensoriamento eletromagnético dos movimentos da massa inercial, feito através de uma bobina fixa à terra, que traduz para variações na corrente elétrica o campo magnético de um forte ímã ligado à extremidade livre da barra oscilante. Este método é altamente sensível, mas depende de grandes amplificações de sinal para o registro dos dados, e é incapaz de determinar a posição absoluta da massa, pois a corrente elétrica só é gerada no momento de oscilação do campo magnético. Como complemento ao sensor eletromagnético, foi também elaborado um sistema óptico que mostrou-se de alta versatilidade e potencial de uso também em outros instrumentos. O funcionamento deste é dado por um emissor *laser* montado paralelamente à barra oscilante do sismômetro, cujo feixe aponta para um anteparo distante do eixo de oscilação. O movimento deste feixe é capturado e registrado com precisão por meio de uma *webcam* ligada a um computador. Este sistema permite não apenas a análise dos movimentos absolutos ao invés de suas variações, como também o registro de frequências muito menores do que as conseguidas pelo sistema eletromagnético. Infelizmente, o registro óptico, a princípio, não dispõe de sensibilidade aos micromovimentos detectados pelo instrumento, por isto é que propõe-se que ambos os sistemas sejam utilizados complementarmente para a obtenção de maior gama de registros no mesmo detector.

Com o objetivo de provar a praticabilidade deste projeto, e também demonstrar uma forma de sismógrafo didático a baixíssimo custo e complexidade, o primeiro protótipo, mostrado na figura 1, foi desenvolvido com uma estrutura de madeira reaproveitada. Todo o sensoriamento foi feito a partir de lixo eletrônico, utilizando-se um conjunto estator de motor elétrico como bobina do sensor, ímãs de discos rígidos tanto para amortecimento, quanto para induzir uma corrente elétrica na bobina, e um computador antigo para análise dos dados. Dada a proposta de simplificar o projeto, dentro dos limites da usabilidade, o método de aquisição de dados encontrado como suficiente para propósitos didáticos foi o uso da placa de som do computador como amplificador e conversor analógico-digital. Neste caso, os terminais da bobina de detecção foram ligados diretamente aos pólos de um conector do tipo P2, e este, à entrada do microfone do computador, que demonstrou sensibilidade o suficiente para o fim esperado, sendo que foi possível detectar passos no chão ao redor do dispositivo, portas fechando, entre outros pequenos movimentos.

A captura e registro dos sinais eletromagnéticos para todos os protótipos aqui demonstrados foi feito por meio do *software* livre *Audacity*, originalmente criado para a gravação de áudio, mas que mostrou-se muito eficiente na aquisição de dados, permitindo o salvamento e exportação destes sinais para eventual tratamento, além de medições de frequência e tensão relativa dentro do próprio aplicativo. Mesmo tendo sido construído com tolerâncias vagas e sem dimensionamento preciso dos componentes, o primeiro protótipo mostrou grande potencial de evolução, e sozinho já poderia ser utilizado como instrumento

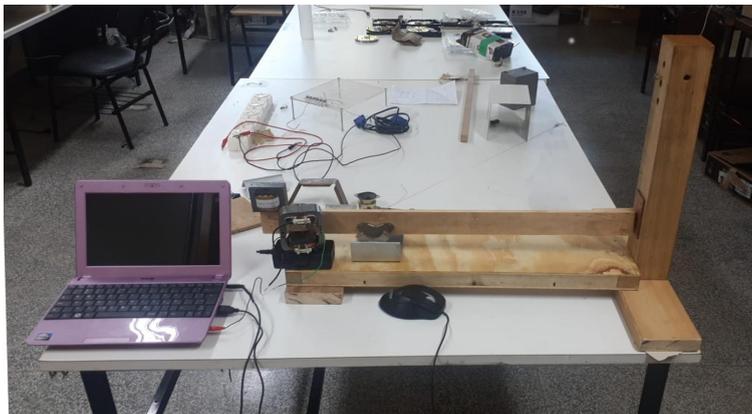


SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

didático bastante completo. Notou-se a necessidade de diminuição de atrito no fulcro da estrutura, que aqui foi feito com uma lâmina de estilete apoiando a barra contra o anteparo, e também que seria possível diminuir significativamente a necessidade de amplificação do sinal com uma bobina feita sob medida.

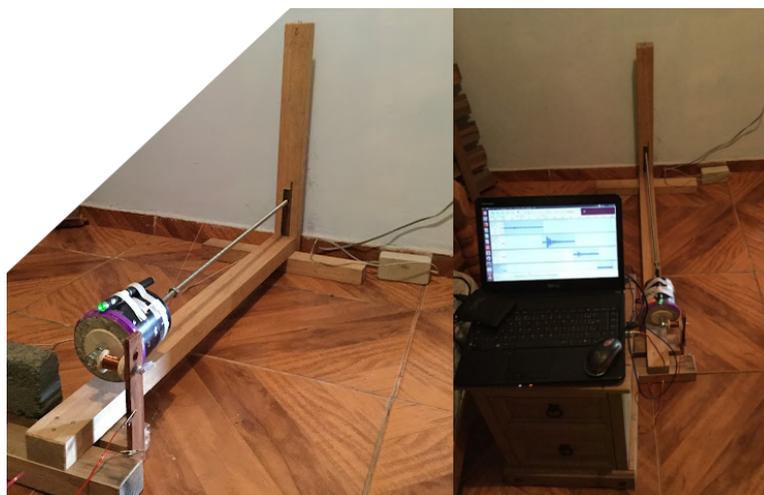
Figura 2 – primeiro protótipo



Fonte: autoria própria (2021)

A partir das considerações obtidas nos primeiros experimentos, foi elaborado um segundo protótipo, ainda com estrutura de madeira reaproveitada, mas agora com a barra oscilante composta por uma barra rosqueada de aço de 1,2m, que se mostrou ideal para a fixação dos diversos elementos por meio de porcas e arruelas. Para o fulcro, uma extremidade desta barra foi esmerilhada de ambos os até chegar na forma de uma cunha, e esta ponta foi apoiada contra uma placa de latão. Os pontos de contato metálicos se mostraram essenciais para aumentar a eficiência de todo o sistema. A massa inercial utilizada trata-se de um pote plástico reaproveitado e preenchido de concreto, pesando aproximadamente 1,5kg. O suporte da barra e da massa é feito por um pedaço de linha de pesca, embora não tenha se mostrado o material ideal, pois se estende com o peso nele aplicado, gerando um elemento de movimento vertical que pode interferir com as medições.

Figura 3 – vistas do segundo protótipo



Fonte: autoria própria (2021)

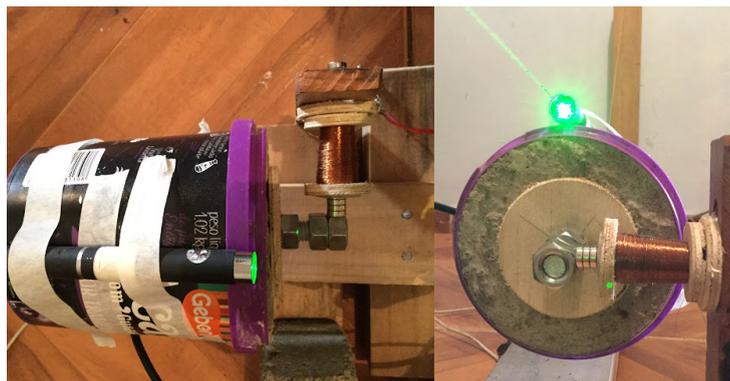


SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

Para este segundo protótipo, foi construída uma bobina de cerca de três mil voltas de fio de cobre envernizado 0,2mm<sup>2</sup> reaproveitado de um transformador, a bobina é oca, sendo suportada pelo corpo de uma seringa plástica, dentro da qual pode mover-se livremente uma pilha oito ímãs de neodímio de 1cm de diâmetro com cerca de 1mm de folga nos arredores, para garantir que não haja atrito entre o corpo da bobina e os ímãs. O conjunto de ímãs está acoplado magneticamente a um par de porcas rosqueadas na barra oscilatória, o que permite o ajuste de sua posição para garantir o livre movimento de todo o sistema.

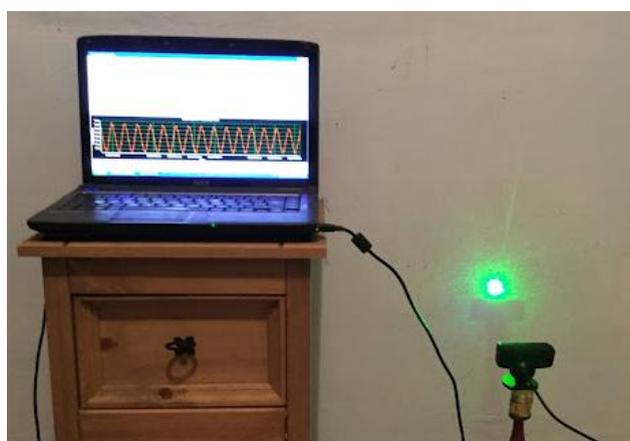
Figura 4 – vistas dos elementos de sensoriamento



Fonte: autoria própria (2021)

O emissor *laser* utilizado para o sensoriamento óptico é um apontador simples, cuja potência não tem grande influência salvo a consideração da iluminação no ambiente em que este será utilizado. Este emissor foi instalado sobre a massa inercial, de maneira que seu feixe seja colinear à barra oscilante. O anteparo usado aqui é uma parede lisa e fosca, distante dois metros do emissor. Abaixo da faixa de movimento do feixe *laser*, distante alguns centímetros da parede foi instalada a *webcam* conectada ao computador. O registro dos dados ópticos é feito através do *software* livre *LaserTrack*, originalmente desenhado para coletar informações de um magnetômetro dotado do mesmo princípio de funcionamento, este programa se adaptou bem para as determinações de período, amortecimento e posição absoluta no sismômetro, sendo seu único percalço permitir um período mínimo entre medidas de um segundo.

Figura 5 – sensoriamento por meio de feixe *laser*



Fonte: autoria própria (2021)

Terminada a construção do segundo protótipo, o primeiro ensaio executado foi a medição do período natural do sismômetro. Este período é dependente do comprimento da barra oscilatória, e do ângulo entre

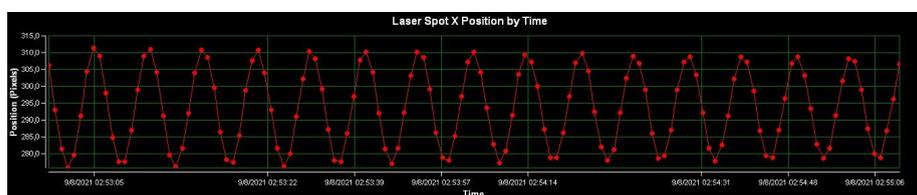


SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

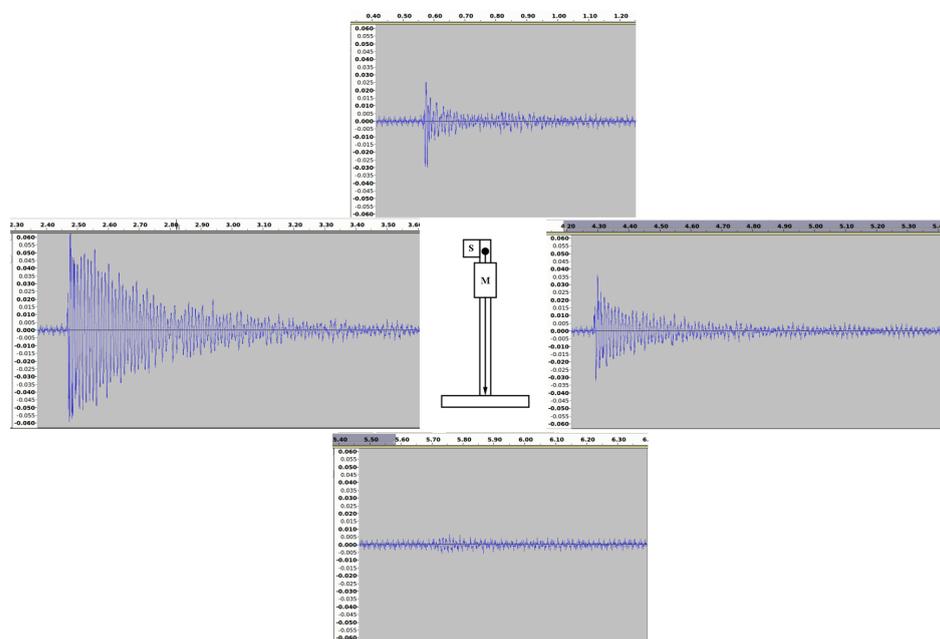
o fulcro e o ponto de apoio do fio que suporta a massa inercial, portanto esta medida deve ser feita com o instrumento instalado em sua posição final. A determinação da periodicidade de oscilação do sismômetro é útil para a afinação do instrumento em relação ao tipo de movimento que se deseja detectar. Quando o objetivo é o registro de eventos sísmicos distantes, cuja frequência pode variar entre centenas e dezenas de segundos, o ideal é que o instrumento seja do tipo chamado “período longo” (AMMON, 2019). Para vibrações mais próximas, ou mesmo artificiais, como será o caso aqui, é de interesse que o instrumento tenha período curto, entre um e dez segundos, aproximadamente. Com o sismômetro montado em seu local final, foi feita uma medição do pêndulo livre, depois de estabilizado, com o sistema de sensoriamento óptico, de onde obteve-se o gráfico da figura 6. Com estes dados foi possível calcular o período natural de oscilação da massa inercial deste protótipo como sendo de aproximadamente oito segundos.

Figura 6 – registro do sensoriamento óptico



Fonte: Autoria própria, software LaserTrack (2021)

Figura 7 – Resultados dos testes em quatro direções relativas à massa inercial do sismômetro



Fonte: Autoria própria, software Audacity(2021)

Para testar o sensor eletromagnético foi desenvolvido um método baseado nos experimentos de Emil Wiechert e Ludger Mintrop (KREHL, 2009), mas em escala significativamente menor. Uma massa, neste caso, uma garrafa plástica cheia d’água, é içada e derrubada de uma altura constante, em diferentes posições relativas à massa inercial do sismômetro. Os testes mostrados na figura 7 foram feitos com um peso de 1kg sendo derrubado de 15cm de altura, a um raio de 2m da massa inercial do sismômetro, em quatro direções ortogonais. Os dados foram obtidos diretamente da bobina do sensor, sem qualquer



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

XI Seminário de Extensão e Inovação  
XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica  
08 a 12 de Novembro - Guarapuava/PR



amplificação além da fornecida pela placa de captura de som do computador, e gravados pelo programa *Audacity*. Todas as representações gráficas têm a mesma escala de tempo e amplitude, e pode-se perceber claramente os preceitos postulados na introdução deste trabalho, referentes ao melhor aproveitamento dos sinais paralelos à direção de movimento da massa inercial, sendo o sinal à sua esquerda o mais alto por conta da posição unilateral da bobina do sensor, seguido pelo ensaio feito à direita do sensor, e então pelo teste à frente do aparato. O teste feito imediatamente atrás do sismômetro demonstrou a menor amplitude de sinal devido à sua posição colinear à barra oscilante e oposta à massa inercial e ao fulcro.

### AGRADECIMENTOS

Aos colegas, professores e alunos do projeto LER<sup>3</sup>, e a todos de fora que colaboraram com soluções e questionamentos para este desenvolvimento.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR.

### REFERÊNCIAS

KREHL, Peter O. K. **History of shock waves, explosions and impact**: a chronological and biographical reference. Berlin: Springer, 2009.

AUDACITY TEAM. **Audacity**. Disponível em: <https://www.audacityteam.org/>. Acesso: 05 de setembro de 2021.

FIELD TESTED SYSTEMS. **LaserTrack**. Disponível em: <https://www.fieldtestedsystems.com/magnetometer/>. Acesso: 07 de setembro de 2021.

AMMON, Charles J. **Waves, Seismograms, and Seismometers**: Class notes. Universidade de Saint Louis. Estados Unidos da América, 2019. Disponível em: <http://eqseis.geosc.psu.edu/cammon/HTML/Classes/IntroQuakes/Notes/seismometers.html>. Acesso: 18 de agosto de 2021.

MOUTINHO, Sara, VASCONCELOS, Sara. **História da Ciência em manuais escolares**: os sismógrafos e o desenvolvimento da sismologia. História das Ciências para o Ensino - Atas do Colóquio II. Universidade de Coimbra. Portugal. 2014.

WALKER, Jearl. **Lehman Seismometer**: How to build a simple seismograph to record earthquake waves at home. Scientific American Magazine. Estados Unidos da América. Julho de 1979.

WIELANDT, Erhard. **Seismic sensors and their calibration**. Instituto de geofísica, Universidade de Estugarda, Alemanha. 2002. Arquivado. Disponível em: [https://web.archive.org/web/20100924231853/http://www.geophys.uni-stuttgart.de/oldwww/seismometry/man\\_html/index.html](https://web.archive.org/web/20100924231853/http://www.geophys.uni-stuttgart.de/oldwww/seismometry/man_html/index.html)