



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

NÍVEL MESTRADO PROFISSIONAL

MATHEUS MAIA CÂMARA

DINÂMICA DE TERREMOTOS PARA O ENSINO MÉDIO

CARUARU

2022

MATHEUS MAIA CÂMARA

DINÂMICA DE TERREMOTOS PARA O ENSINO MÉDIO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Formação de Professores de Física em Nível de Mestrado.

Orientador: Prof. Dr. Charlie Salvador Gonçalves

CARUARU

2022

MATHEUS MAIA CÂMARA

DINÂMICA DE TERREMOTOS PARA O ENSINO MÉDIO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Formação de Professores de Física em Nível de Mestrado.

Aprovada em: 22/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Charlie Salvador Gonçalves (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco
Universidade Federal da Paraíba

Profa. Dra. Thatyara Freire de Souza (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco
Universidade Federal do Semiárido

Prof. Dr. Gustavo Camelo Neto (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edvaldo Nogueira Júnior (Examinador Externo)
Universidade Federal da Paraíba

Dedico essa dissertação a minha mãe Célia Marli, ao meu pai Everaldo Virgínio e a minha irmã Ana Clara.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pelo dom da vida. Sem Ele, sei que não seria capaz de chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais Célia Marli Maia Câmara e Everaldo Virgínio Câmara, por todo apoio, paciência, carinho e amor, sem eles sei que esse caminho seria muito mais árduo. Saibam que o meu amor por você ultrapassa qualquer barreira.

Agradeço também a minha irmã, Ana Clara, por todas as nossas conversas, pelo apoio durante toda essa jornada, sem ela sei que não estaria tranquilo fazendo esse mestrado tão distante de casa.

Agradeço a todos os meus professores, que me fizeram ver o ensino de física de uma forma diferente. Em especial ao meu orientador Charlie Salvador Gonçalves, que durante todo o processo não deixou de me apoiar e me motivar. Quero que saiba que lhe tenho como exemplo de profissional.

Agradeço aos meus amigos Renan Aversari Câmara, Luther Vasque Vieira e Michele Julie Lourenço de Almeida por todas as discussões que tivemos, essas que foram fundamentais para o resultado desse trabalho.

Agradeço a todos da EEEFM Cônego Antônio Galdino que possibilitaram a aplicação dos produtos educacionais, em especial aos professores que de alguma forma facilitaram esse processo.

Agradeço a Universidade Federal da Paraíba, em especial ao Departamento de Física, que disponibilizaram o laboratório de ensino de Física para a construção do experimento.

Agradeço também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e a Sociedade Brasileira de Física (SBF), que possibilitaram esses anos de formação.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

Neste trabalho apresentamos uma inusitada proposta para explorar o ensino de Oscilações Mecânicas no Ensino Médio a partir do conceito de terremoto e aproveitando a vivência da população local em experimentar sismos na região agreste de Pernambuco. Para tanto foi desenvolvido um produto educacional, composto por uma sequência didática, e um equipamento a ela associado, que reproduz um prédio sob condições de oscilação de sua base simulando um terremoto. Podem facilmente ser ensinados temas envolvendo oscilações, energia e trabalho. A sequência didática foi elaborada com base na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, que trata de como os novos conhecimentos se conectam com os conhecimentos prévios dos alunos e na Teoria Sociointeracionista de Vygotsky, onde a aprendizagem é vista a partir das interações sociais e da interpretação dos signos de acordo com as experiências vividas. Ela também é embasada na metodologia de Ensino de Ciências por investigação de Anna Maria Pessoa de Carvalho, que coloca o aluno na posição de protagonista, onde além dos conhecimentos físicos o aluno desenvolve autonomia e senso crítico. O produto educacional foi construído em torno da temática de terremotos, visando proporcionar aos alunos um sequências de atividades que promovem a aprendizagem dos conhecimentos físicos dentro de uma temática pouco explorada pela disciplina. O equipamento consiste em um modelo em escala de uma edificação, equipada com um Atenuador Dinâmico Sintonizado, sobre uma Mesa de Agitação Sísmica, de forma que os alunos possam visualizar os fenômenos físicos e construir os conhecimentos através da experimentação. A aplicação desse produto educacional foi feita em turmas da 1ª Série do Ensino Médio e em turmas da Educação de Jovens e Adultos. A avaliação dessas atividades foi feita durante a aplicação da sequência e foi observado um bom rendimento dos estudantes nas aulas, apresentando bons resultados quantitativos e qualitativos, este último quando considerado o foco dos estudantes neste aprendizado e uma aguçada curiosidade sobre o assunto. Preparamos este trabalho de tal forma que o professor possa reproduzi-lo, tanto na construção do equipamento junto com os estudantes, como também no uso da sequência didática para dinamizar o estudo deste assunto tão importante.

Palavras-chave: terremotos; dinâmica sísmica; atenuador dinâmico sintonizado; oscilações; ensino de física; ensino por investigação.

ABSTRACT

In this work we present an unusual proposal to explore the teaching of Mechanical Oscillations in High School from the concept of earthquake and taking advantage of the experience of the local population in experiencing earthquakes in the agreste region of Pernambuco. For that, an educational product was developed, composed of a didactic sequence, and an equipment associated with it, which reproduces a building under conditions of oscillation of its base simulating an earthquake. Subjects involving oscillations, energy and work can easily be taught. The didactic sequence was elaborated based on Ausubel's theory of Meaningful Learning, which deals with how new knowledge connects with the students' previous knowledge, and on Vygotsky's Sociointeractionist Theory, where learning is seen from social interactions and interpretation. of the signs according to the lived experiences. It is also based on Anna Maria Pessoa de Carvalho's Research Science Teaching methodology, which places the student in the position of protagonist, where in addition to physical knowledge, the student develops autonomy and critical thinking. The educational product was built around the theme of earthquakes, aiming to provide students with a sequence of activities that promote the learning of physical knowledge within a theme little explored by the discipline. The equipment consists of a scale model of a building, equipped with a Tuned Dynamic Attenuator, on a Seismic Shaking Table, so that students can visualize the physical phenomena and build knowledge through experimentation. The application of this educational product was carried out in 1st Grade High School classes and in Youth and Adult Education classes. The evaluation of these activities was made during the application of the sequence and a good performance of the students in the classes was observed, presenting good quantitative and qualitative results, the latter when considered the focus of the students in this learning and a keen curiosity about the subject. We prepared this work in such a way that the teacher can reproduce it, both in the construction of the equipment together with the students, as well as in the use of the didactic sequence to stimulate the study of this very important subject.

Keywords: earthquakes; seismic dynamics; tuned dynamic attenuator; oscillations; physics teaching; research teaching.

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 – Parâmetros de um sismo	30
Diagrama 2 – Ondas de corpo Primária (a) e Secundária (b), e das ondas de superfície de Love (c) e de Rayleigh (d)	31
Diagrama 3 – Sistema Massa mola	37
Diagrama 4 – Sistema com 1 Grau de Liberdade	49
Diagrama 5 – Sistema com 2 Graus de Liberdade	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mesa de agitação sísmica de F. J. Rogers	47
Figura 2 – Mesa de agitação sísmica de L. S. Jacobsen	47
Figura 3 – 1ª Pergunta do pré-teste	67
Figura 4 – 2ª Pergunta do pré-teste	68
Figura 5 – 3ª Pergunta do pré-teste	69
Figura 6 – 7ª Pergunta do pré-teste	70
Figura 7 – 8ª Pergunta do pré-teste	71
Figura 8 – 4ª Pergunta do pré-teste	73
Figura 9 – 5ª Pergunta do pré-teste	74
Figura 10 – 6ª Pergunta do pré-teste	75
Figura 11 – 3ª Pergunta do pós-teste	76
Figura 12 – 7ª Pergunta do pós-teste	77
Figura 13 – 4ª Pergunta do pós-teste	78
Figura 14 – 5ª Pergunta do pós-teste	79
Figura 15 – 6ª Pergunta do pós-teste	80
Figura 16 – 1ª Pergunta do pós-teste	81
Figura 17 – 2ª Pergunta do pós-teste	82
Figura 18 – 8ª Pergunta do pós-teste	83

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Atenuador do Prédio Taipei 101	48
Fotografia 2 – Atenuador da ponte Rio Niterói	48
Fotografia 3 – Mesa de agitação sísmica	59
Fotografia 4 – Mesa de agitação sísmica	60
Fotografia 5 – Motor de corrente contínua	60
Fotografia 6 – Segunda versão da estrutura	61
Fotografia 7 – Estrutura da edificação	62
Fotografia 8 – Peças de MDF	62
Fotografia 9 – Atenuador Dinâmico Sintonizado	64
Fotografia 10 – EEEFM Cônego Antônio Galdino	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Oscilação amortecida com amortecimento subcrítico	41
Gráfico 2 – Curvas características dos amortecimentos	42
Gráfico 3 – Oscilação do topo da edificação	63
Gráfico 4 – Oscilação da edificação com e sem ADS	64
Gráfico 5 – Gráfico referente a 1a Pergunta do pré-teste	67
Gráfico 6 – Gráfico referente a 2a Pergunta do pré-teste	68
Gráfico 7 – Gráfico referente a 3a Pergunta do pré-teste	69
Gráfico 8 – Gráfico referente a 7a Pergunta do pré-teste	70
Gráfico 9 – Gráfico referente a 8a Pergunta do pré-teste	71
Gráfico 10 – Gráfico referente a 4a Pergunta do pré-teste	73
Gráfico 11 – Gráfico referente a 5a Pergunta do pré-teste	74
Gráfico 12 – Gráfico referente a 6a Pergunta do pré-teste	75
Gráfico 13 – Gráfico referente a 3a Pergunta do pós-teste	77
Gráfico 14 – Gráfico referente a 7a Pergunta do pós-teste	78
Gráfico 15 – Gráfico referente a 4a Pergunta do pós-teste	79
Gráfico 16 – Gráfico referente a 5a Pergunta do pós-teste	80
Gráfico 17 – Gráfico referente a 6a Pergunta do pós-teste	81
Gráfico 18 – Gráfico referente a 1a Pergunta do pós-teste	82
Gráfico 19 – Gráfico referente a 2a Pergunta do pós-teste	83
Gráfico 20 – Gráfico referente a 8a Pergunta do pós-teste	84

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Terremotos na América do Sul	30
Mapa 2 – Sismos registrados no Brasil entre agosto de 2020 e julho de 2021	35
Mapa 3 – Sismos registrados na região Nordeste do Brasil no ano de 2020	36
Mapa 4 – Sismos registrados em Pernambuco no ano de 2020	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Processo inicial de assimilação por subsunção	23
Tabela 2 – Graus de Liberdade do professor/aluno em aulas de laboratório	27
Tabela 3 – Escala Mercalli modificada simplificada	33
Tabela 4 – Tabela de Magnitude para as escalas Richter e de magnitude de momento	34
Tabela 5 – Quadro de atividades	58

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADS	Atenuador Dinâmico Sintonizado
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
EEEFM	Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
EJA	Educação de Jovens e Adultos
EM	Ensino Médio
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
MDF	Medium Density Fiberboard
MHS	Movimento Harmônico Simples
mb	Magnitude de ondas de corpo de curto período
MM	Grau de intensidade na escala Mercalli Modificada
M_L	Magnitude Local ou Magnitude Richter
M_w	Magnitude de momento
RSBR	Rede Sismográfica Brasileira.
USGS	United States Geological Survey

LISTA DE SÍMBOLOS

τ	Período da oscilação
f	Frequência da oscilação
x	Componente x do deslocamento
t	Tempo
A	Amplitude da oscilação
ω_0	Frequência angular de um MHS
ϕ	Constante de fase
\vec{F}_e	Força Elástica
k	Constante Elástica
m	Massa
\vec{F}_d	Força Dissipativa
c	Constante de amortecimento
ω	Frequência angular
\vec{F}	Força externa periódica
F_0	Módulo máximo da força periódica
m_e	Massa da estrutura
x_e	Componente x do deslocamento da estrutura
k_e	Constante Elástica da estrutura
c_e	Constante de amortecimento da estrutura
m_a	Massa do atenuador
x_a	Componente x do deslocamento do atenuador
k_a	Constante Elástica do atenuador
c_a	Constante de amortecimento do atenuador

SÚMARIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	TEORIAS DA APRENDIZAGEM	21
2.1	TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL	22
2.2	TEORIA SOCIOINTERACIONISTA DE VYGOTSKY	24
2.3	ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO	26
3	FUNDAMENTOS DA DINÂMICA SÍSMICA	29
3.1	TERREMOTO	29
3.2	AS ONDAS SÍSMICAS	31
3.3	CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE E MAGNITUDE DOS TERREMOTOS	32
3.4	SISMOS NO BRASIL	34
3.4.1	Sismos no Nordeste	35
4	OSCILAÇÕES MECÂNICAS	37
4.1	OSCILAÇÕES HARMÔNICAS SIMPLES	37
4.2	OSCILAÇÕES AMORTECIDAS	39
4.2.1	Amortecimento Subcrítico	40
4.2.2	Amortecimento Supercrítico	40
4.2.3	Amortecimento Crítico	41
4.3	OSCILAÇÕES FORÇADAS E AMORTECIDAS	42
4.3.1	Ressonância	43
4.4	ENERGIA NAS OSCILAÇÕES	44
5	TECNOLOGIAS SÍSMICAS	46

5.1	AS MESAS DE AGITAÇÃO SÍSMICAS	46
5.2	SISTEMAS DE CONTROLE DE VIBRAÇÕES	47
5.3	COMPORTAMENTO DE EDIFICAÇÕES COMO OSCILADORES	49
6	PRODUTO EDUCACIONAL	52
6.1	A SESQUÊNCIA DIDÁTICA	52
6.1.1	Principais Aspectos da Sequência Didática	52
6.1.1.1	Apresentação	52
6.1.1.2	Desenvolvimento da Experimentação	53
6.1.1.3	Desenvolvimento do Pensamento Crítico	53
6.1.2	Das Funções	53
6.1.2.1	Da Sequência Didática	53
6.1.2.2	Do Experimento	54
6.1.2.3	Do Professor	54
6.1.2.4	Do Aluno	55
6.2	DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	55
6.2.1	A Parte Expositiva	55
6.2.1.1	O Ensino por Investigação	56
6.2.1.2	Sismos.....	56
6.2.1.3	Oscilações	56
6.2.1.4	Trabalho e Energia	56
6.2.2	Atividade Experimental	56
6.2.2.1	Oscilações	56
6.2.2.2	Ressonância	57
6.2.2.3	Trabalho e Energia	57
6.2.3	Parte Argumentativa	57

6.2.4	Calendário de Atividades	57
6.3	DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL	58
6.3.1	Mesa de Agitação Sísmica	59
6.3.2	Estrutura da Edificação	60
6.3.3	Atenuador Dinâmico Sintonizado	63
7	ANÁLISE DE DADOS	65
7.1	DA APLICAÇÃO	65
7.1.1	A Escola	65
7.1.2	Espaço Amostral	65
7.2	O PRÉ-TESTE	66
7.2.1	Dos Conceitos	66
7.2.2	Da Relação de Grandezas	72
7.3	O PÓS-TESTE	76
7.3.1	Dos Conceitos	76
7.3.2	Relacionando Grandezas	81
8	CONCLUSÃO	85
9	PERSPECTIVAS FUTURAS	87
	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICE A – O PRODUTO EDUCACIONAL	90

1 INTRODUÇÃO

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018) busca a construção de conhecimentos contextualizados, que permitam aos alunos fazerem julgamentos, tomar iniciativas, elaborar argumentos e apresentar proposições alternativas, bem como fazer uso criterioso de diversas tecnologias. Mas na grande maioria das situações, a Física é trabalhada de forma a preparar os alunos apenas para resolverem questões e utilizar fórmulas, ficando assim a compreensão dos conceitos e fenômenos limitada a estas situações.

A disciplina de Física discute temas que podem ser visualizados a todo momento no cotidiano, mas essa experiência de conectar o cotidiano com a disciplina é muito pouco aproveitada. Considerando que o agreste pernambucano é um local de abalos sísmicos, este tema poderia ser melhor utilizado desde os primeiros momentos do ensino. Ao analisarmos os livros e materiais didáticos utilizados no Ensino Médio, podemos notar que, normalmente, aplicações tecnológicas são apenas apresentadas nas introduções dos capítulos, como forma de promover interesse dos alunos, porém ao longo deles, essas contextualizações não são recorrentes. A partir dessa análise, pensamos em um produto educacional que pudesse trabalhar conteúdos de física com base em uma aplicação tecnológica, essa proposta não busca apenas promover um interesse inicial, mas mantê-lo durante toda a sequência didática. O produto aqui proposto é composto por uma mesa de agitação sísmica, um modelo em escala de uma edificação esguia e um atenuador dinâmico sintonizado, um equipamento tecnológico de amortecimento para oscilações.

O principal objetivo deste trabalho é promover uma aprendizagem substantiva e possibilitar o desenvolvimento dos conceitos da Física apresentados nas aulas, a partir de conhecimentos e conceitos já existentes no cognitivo dos alunos, oriundo de suas experiências já vividas. Apresentando situações mais contextualizadas, onde a aplicação dos conceitos, os prévios e os a serem construídos, se fazem presentes, permitindo aos alunos, através da experimentação, conseguirem não apenas reproduzir o que foi aprendido em sala de aula, como também compreender os temas nele trabalhado em diversas outras situações.

Este produto possibilita trabalhar, através de uma abordagem experimental, os temas ligados a oscilações. Com as oscilações promovidas pela mesa e com as respostas da estrutura e do atenuador, podemos trabalhar conceitos da energia, trabalho, ressonância, dissipação, além dos conceitos de frequência, amplitude e período. A forma com que o experimento foi construído, permite trabalhar esses conceitos qualitativamente, sem a necessidade de nenhum software ou equipamentos de medição. Para uma atividade quantitativa, a utilização de softwares de análise de vídeo pode ser aplicados, bem como sensores podem ser acoplados ao equipamento, o uso de celulares, tanto para gravação de vídeos, como na utilização de aplicativos para medir a aceleração, são recursos de fácil acesso que nele podem ser aplicados.

A proposta da sequência didática contida neste trabalho busca colocar os alunos como protagonistas, tornando-os agentes ativos nos seus processos de ensino. Essa proposta é fundamentada na metodologia Ensino de Ciências por Investigação de Anna Maria Pessoa de Carvalho e amparado pela teoria da Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel e pela Teoria Sociointeracionista de Lev Semionovitch Vygotsky. Essa sequência também busca uma maior interação entre os discentes, de forma que companheiros de turma possam ser mediadores. Os professores nessa proposta também tem a função de mediador, porém esses promovem aos alunos, problemas e interpretações que facilitam a aprendizagem, visto que possuem um grau de conhecimento maior sobre os conteúdos trabalhados.

No primeiro capítulo são trabalhadas as teorias da aprendizagem que servem que arcabouço para o produto educacional, bem como a metodologia que é base para sequência didática. No segundo capítulo é abordada a temática de terremotos, descrevendo suas características e as ocorrências no território do Brasil. No terceiro é descrito o comportamento das osciladores mecânicos, com oscilações harmônicas simples, com amortecimento subcrítico, crítico e supercrítico e forçados por uma força periódica. No quarto capítulo são apresentadas tecnologias sísmicas, dentre elas a Mesa de Agitação Sísmica e o Atenuador Dinâmico Sintonizado (ADS), bem como é apresentado o modelo matemático utilizado para compreender o comportamento de estruturas com ADS. No quinto capítulo é apresentado o produto educacional, composto de uma sequência didática e um equipamento que simula terremotos em uma edificação esguia. No sexto capítulo é apresentado os dados e resultados obtidos da aplicação do produto educacional em turmas de Ensino Médio e Educação de Jovens e Adultos. E por fim o último capítulo trás uma análise qualitativa da aplicação do produto educacional, bem como as perspectivas futuras.

2 TEORIAS DA APRENDIZAGEM

Ao observamos as vivências docentes, percebemos que a aprendizagem tem uma tendência comportamentalista, mesmo quando a intenção é oposta. Os materiais didáticos e os sistemas avaliativos que normalmente são utilizados tem um foco nas resoluções de exercícios. Esta é uma habilidade importante, porém não é a única que merece atenção dentro do processo de ensino-aprendizagem de Física. Como encontrado no texto do documento da BNCC:

...a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – integrada por Biologia, Física e Química – propõe ampliar e sistematizar as aprendizagens essenciais desenvolvidas até o 9º ano do Ensino Fundamental. Isso significa, em primeiro lugar, focalizar a interpretação de fenômenos naturais e processos tecnológicos de modo a possibilitar aos estudantes a apropriação de conceitos, procedimentos e teorias dos diversos campos das Ciências da Natureza. . (BRASIL, 2018, p 537).

Destaca-se a importância da compreensão dos conceitos científicos envolvendo os fenômenos naturais, bem como a aplicação desses conceitos em processos tecnológicos. Nesse processo de compreensão, cada indivíduo passa por um processo único devido a todas as informações por ele obtido ao longo da vida. Para os professores, é um desafio constante mediar cada processo deste, principalmente quando o número de alunos em uma turma não possibilita um contato mais próximo, caso esse que é cada vez mais comum no dia a dia dos professores. Neste trabalho destacamos autores que nos possibilitam estabelecer uma metodologia, que proporcione um aprendizado eficiente, mesmo quando o contato individualizado se torne inviável.

O primeiro autor em que temos suas obras como base é David Ausubel, que traz uma visão clássica da aprendizagem significativa, onde os conhecimentos prévios são um dos principais fatores a serem considerados para o ensino. Ausubel trata de como a aprendizagem acontece na estrutura cognitiva do aluno, tanto na perspectiva da construção do conhecimento científico quanto da psicologia educacional. Ausubel (2003) afirma que “[..] o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo”.

Trazemos também Lev Vygotsky, que em sua teoria da aprendizagem sociointeracionista busca compreender como o processo de aprendizagem acontece de forma social. Nesta, o signo é o principal agente mediador desse processo, e para isto devemos levar em consideração os diversos significados que a eles podem ser associados. Vygotsky ressalta que os significados associados aos signos são carregados de experiências próprias e que estas devem ser levadas em consideração durante a aprendizagem (VYGOTSKY, 1993).

Vemos que tanto Ausubel, quanto Vygotsky trabalham com a ideia de que não se pode começar um processo de aprendizagem, sem antes conhecer minimamente a bagagem de conhecimento que os alunos carregam. Desta forma, conhecer os alunos é algo indispensável,

mesmo que em algumas situações, esse processo leva mais tempo que o disponível. Nessas situações é comum buscar conhecimentos que abrangem a maior parte dos alunos, porém desta forma alguns alunos podem se sentir deslocados, sem pertencer a aquela interação.

Por fim trazemos a metodologia do ensino de ciências por investigação, de Anna Maria Pessoa de Carvalho, buscando aqui evidenciar as experiências dos alunos, de forma que a mediação do professor se torne viável, mesmo quando o número de alunos for elevado. Essa metodologia também busca desenvolver nos alunos uma forma de busca pelo conhecimento eficiente, tornando-os pessoas capazes de buscar entender, verificar e julgar informações a eles passadas, mediante conhecimentos prévios, fontes externas de informações e métodos de verificação, como o próprio método científico. Para Carvalho (2019), para que os alunos sejam alfabetizados cientificamente se faz necessário organizar as aulas de maneira compatível com os referenciais teóricos, levando em consideração que os alunos não vão pensar nem se comportar como cientistas.

2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

A teoria de Ausubel busca entender e explicar como os conhecimentos a serem aprendidos se conectam com o conhecimento já obtido pelo aluno que segundo Moreira (2012), essas “ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe”. Aqui podemos observar um processo onde os conhecimentos, novos e prévios, se conectam de forma que novos conceitos sejam significativos, tornando assim a estrutura mais sólida. É importante ressaltar que não apenas os conhecimentos novos quanto também os prévios, podem sofrer alterações dependendo de que significados já estão atrelados a eles.

Assim, como afirma Ausubel (2003), temos como fator isolado mais importante os conhecimentos já possuídos pelos alunos e que isso deve ser direcionador do processo de ensino, ele chama esses conhecimentos de subsunçores ou de ideias âncora. Esses conhecimentos podem existir de diferentes formas no cognitivo do aluno, desde conceitos a símbolos e imagens, onde é papel do professor conhecê-los e facilitar a associação com os novos conceitos, integrando-os no processo de aprendizagem.

Segundo Moreira (2012) para que a aprendizagem ocorra, os materiais educativos devem ter uma potencialidade significativa e os alunos devem possuir uma predisposição para aprender. Podemos destacar aqui que o processo de ensino deve ser pensado de acordo com o que o aluno já conhece, levando em consideração que mesmo os conhecimentos incompletos ou até com significados incoerentes devem ser levados em consideração, para que os mesmos possam ser ressignificados. Outro fator que deve ser levado em consideração é que o aluno deve está predisposto a aprender, e ao incluir esses conhecimentos dentro do processo, o professor torna o aluno mais integrado e assim mais confortável, favorecendo uma melhor disposição a aprendizagem. Ambientar as aulas dentro de contextos familiares aos alunos não apenas

possibilita maior integração, quanto pode levá-los a ter maior interesse em participar das práticas.

Para Ausubel, afirma Moreira (1999), a estrutura cognitiva é uma hierarquia de conceitos, de forma que os mais específicos estão ligados a conceitos mais gerais. Trazendo um exemplo relacionado a Física, movimento e velocidade são conceitos normalmente aprendidos no cotidiano, ao participar de aulas de Física novos conceitos e novos significados são apresentados para os alunos e vão se relacionando a esses, como aceleração, trajetória, referencial. Esses conceitos não só se ligam, mas também modificam como os conhecimentos já existentes são entendidos.

Ausubel propõe a "teoria da assimilação", onde um conceito ou proposição **a**, com potencial significativo é assimilado ao conceito subsunçor **A**. Os conceitos envolvidos nesse processo são alterados pela interação (Tabela 1), ao final os conceitos modificados **a'** e **A'** permanecem relacionados formando um novo subsunçor modificado **a'A'** (Ibidem).

Tabela 1 – Processo inicial de assimilação por subsunção

Nova informação potencialmente significativa	⇒	Relacionada a, e assimilada por A	⇒	Conceito Subsunçor existente na estrutura cognitiva	⇒	Produto interacional (subsunçor modificado)
a				A		A'a'

Fonte: Moreira (2001).

Nota: Adaptado de Braga (2010).

Ao fim do processo se inicia um período de retenção, que para Ausubel é favorecido pela possibilidade dos conhecimentos poderem ser dissociados, permanecendo como entidades individuais. Moreira (1999) nos mostra que, após esse período, as novas informações se tornaram espontâneas, e cada vez menos dissociáveis de suas ideias âncoras. Este estágio é a assimilação obliteradora onde, segundo Braga (2015), o conhecimento adquirido pode passar por uma ação erosiva, visto que a organização cognitiva tem uma tendência reducionista.

Temos por exemplo, o conceito de força, que inicialmente é apresentado ao aluno através das leis de Newton e é trabalhado associando com o conceito de aceleração já visto por eles ao estudarem cinemática. Quando esse conceito é discutido em sala, ele é assimilado com a aceleração, o conceito força se tornara vinculado ao de aceleração que é o conceito mais bem estabelecido, por outro lado o conceito de aceleração será modificado, ganhando um significado da causa para que ela aconteça, a força resultante. Ainda nesse processo outras associações podem ser feitas, criando novos vínculos tanto com os conceitos novos, como com o ancora, como por exemplo a associação da força e da aceleração com os conceitos de peso, normal, atrito.

Durante o processo de retenção os novos conhecimentos já ancorados são organizados no cognitivo, em intervalos de memória. Passado o período de retenção, a erosão dos conhecimentos

começa a acontecer, caso nenhuma medida seja tomada, o conceito de força pode ser perdido, permanecendo, por exemplo, apenas que ela é causadora da aceleração. Para evitar esse efeito os conceitos devem ser retomados em ocasiões futuras.

Da perspectiva da teoria de Ausubel, segundo Moreira (*ibidem*, p. 162), os professores dentro de uma prática de ensino devem em um primeiro momento identificar os conceitos e princípios unificadores, aqueles com potencial de unificar vários outros conceitos e princípios em torno deles, e organizá-los de forma hierárquica. Em sequência, ele deve identificar os subsunçores que são relevantes para aquela prática de aprendizagem e que é esperado que os alunos possuam. Em seguida, deve diagnosticar e identificar quais desses subsunçores estão disponíveis na estrutura cognitiva do aluno. Então, ele deve ensinar utilizando de recursos e princípios que facilitem a aquisição da matéria na estrutura cognitiva, auxiliando o aluno a assimilar os conhecimentos de forma significativa. Por fim deve ser pensado ações de revisão de conteúdo de forma neutralizar ou, pelo menos, reduzir a assimilação obliteradora, que é quando o conhecimento é exposto a um processo de desgaste, onde o cognitivo tende a reduzir o conhecimento em prol da organização cognitiva.

2.2 TEORIA SOCIOINTERACIONISTA DE VYGOTSKY

A teoria de Vygotsky tem como premissa que o desenvolvimento cognitivo não pode ser entendido sem um contexto social, cultural e histórico, sendo assim, ele resulta de mecanismos de origem e natureza sociais e peculiares dos seres humanos (Garton apud Moreira, 1999). Segundo Driscoll (apud Moreira, 1999), a teoria de Vygotsky é apoiada em três pilares: o primeiro que os processos mentais superiores do indivíduo possuem origem em processos sociais, o segundo é que os processos mentais só podem ser entendidos, ao compreender os instrumentos e signos que os media, e o terceiro é a utilização do "método genético co-experimental", que é a técnica que permite ao aplicador conhecer as condições e cursos do desenvolvimento real de uma função psicológica, através da reconstrução do fenômeno.

Para Vygotsky o desenvolvimento cognitivo não tem o meio social apenas como uma variável importante, ele entende que o desenvolvimento cognitivo é a conversão de relações sociais em funções mentais (Driscoll apud Moreira, 1999). Garton (apud Moreira, 1999) ainda afirma que essa conversão se dá a partir da mediação. Dessa forma, o papel dos profissionais da educação não é apenas levar o conhecimento para os discentes, mas promover um meio em que o processo de ensino e aprendizagem ocorra de forma fluida, dentro das relações presentes naquele meio. Esse processo inclui a utilização de instrumentos e signos, onde o primeiro é utilizado para fazer algo, e o segundo significa algo.

Existem três tipos de signos: 1) Indicadores, são aqueles que tem uma relação causa e efeito com aquilo que significam (e.g., fumaça indica fogo, porque é causada por fogo); 2) icônicos, são imagens ou desenhos daquilo que significam; 3) simbólicos, são os que tem uma relação

abstrata com o que significam. As palavras, por exemplo, são signos linguísticos, os números são signos matemáticos, a linguagem, falada e escrita, e a matemática são sistemas de signos. (Moreira, 1999, p 111).

A construção dos significados para cada signo se dá a partir de interações sociais. Um dos primeiros signos aprendidos é quando uma criança começa a chorar, onde ela expressa inicialmente um sentimento ruim, a fome. Porém, a partir do momento em que ela recebe alimento e associa esse alimento ao choro, ela entende que essa é uma forma de pedir alimento. Associar palavras e desenhos a objetos também são signos aprendidos através de uma mediação planejada, normalmente em uma escola, mas no dia a dia fora das paredes da escola os signos são aprendidos. Um exemplo claro são as gírias, palavras que ganham novos significados dentro de determinados ambientes sociais. Moreira (1999) afirma que uma interação social implica, sobretudo, em um intercâmbio de significados

É importante ressaltar que os signos podem ter vários significados, que devem ser distinguidos no processo de comunicação; ao nos referimos a palavra manga por exemplo, podemos rapidamente pensar em alguns significados distintos como a fruta, a parte da roupa ou até mesmo o verbo mangar, conjugado. Mesmo dentro de um contexto em que o significado seja definido, o signo pode carregar um sentido diferente mediante as experiências vividas por cada pessoa. A fruta pode lembrar uma coisa boa, associada ao apreço pelo sabor, ou o verbo a algo desagradável devido a alguma situação ocorrida na história daquele indivíduo.

Esses significados dos signos, de forma natural ao longo da história individual, são generalizados dentro da vivência em um meio coletivo e assim, o conceito espontâneo ou cotidiano, é formado. Por outro lado, esses conceitos ainda detêm características relacionadas as particularidades desse coletivo. Os conceitos científicos, por sua vez, são generalizações destes primeiros conceitos, ou seja, generalização de generalizações. Sobre estes conceitos Vygotsky afirma:

O desenvolvimento dos conceitos científicos começa no campo da consciência e da arbitrariedade e continua adiante, crescendo de cima para baixo no campo da experiência pessoal e da concretude. O desenvolvimento dos conceitos espontâneos começa no campo da experiência e do empirismo e se movimenta no sentido das propriedades superiores dos conceitos: da consciência e da arbitrariedade. O vínculo entre o desenvolvimento dessas duas linhas diametralmente opostas revela indiscutivelmente a sua verdadeira natureza: é o vínculo da zona de desenvolvimento imediato¹ e do nível atual de desenvolvimento. (Vygotsky, 2009, p. 350 apud CREPALDE, R. S., AGUIARJRO. G., 2013).

Vemos que os conceitos científicos e espontâneos crescem em sentidos opostos, atravessando um ao outro. Para que esses conceitos se vinculem de uma forma coerente, é importante que o mediador conheça os limites da zona de desenvolvimento proximal do aprendiz, região

¹ Nota-se que Vygotsky usa o termo zona de desenvolvimento imediato, normalmente usa-se o termo zona de desenvolvimento proximal

onde estão as informações e conceitos que a pessoa pode aprender, mas que ainda não concluiu o processo de aprendizagem. Vygotsky (1988, p 97 apud Moreira 1999) define o limite inferior como o nível de desenvolvimento real do indivíduo, como sua capacidade de resolver problemas de forma independente e o limite superior como o seu nível de desenvolvimento potencial, medido através da solução de problemas sob orientação ou em colaboração com companheiros mais capazes.

A partir desse entendimento de como os conceitos são formados, o mediador deve buscar uma abordagem que procure diminuir esta distância, procurando através do empirismo elevar os conhecimentos espontâneos, facilitando assim a produção de um vínculo entre eles e o conhecimento científico, tomando como ponto de partida o conhecimento científico aplicado em uma situação real e conhecida pelos discentes e buscando ainda entender as particularidades de cada conhecimento espontâneo, possibilitando o intercâmbio de conhecimentos entre professor e aluno, e entre alunos, sempre respeitando a zona de desenvolvimento proximal, de forma a produzir generalizações locais, até alcançar o conhecimento científico.

2.3 ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO

Em busca da melhor apropriação do conhecimento científico por parte dos discentes, recorreremos a um método semelhante, em alguns aspectos, do método científico. Locatelli e Carvalho definem o ensino de ciências por investigação:

... etapas e raciocínios imprescindíveis em uma experimentação científica, o que a faz diferenciar de uma experimentação espontânea. Uma dessas etapas são a elaboração e o teste de hipóteses. O problema e os conhecimentos prévios – espontâneos ou já adquiridos – devem dar condições para que os alunos construam suas hipóteses e possam testá-las procurando resolver o problema. (CARVALHO, A. M. P.(org.), 2013)

Ao construir uma hipótese, o aluno expressa seus conhecimentos espontâneos na busca por encontrar uma solução à problematização proposta, podendo confrontá-la individualmente ou no coletivo. Ao fazer individualmente, permite o desenvolvimento do pensamento científico, raciocinando a partir de variáveis e possibilitando uma nova forma de interpretação do problema. Por outro lado, fazendo isto coletivamente, é possível encontrar variáveis ainda não pensadas, mediante as particularidades de cada conhecimento espontâneo, e se aproximando cada vez mais de uma generalização concreta a todos os presentes, que através de mediação, pode alcançar uma generalização ainda maior, o conhecimento científico. Segundo Carvalho (2013), essa mediação deve buscar evidências e justificativas para as respostas dos estudantes, e orientá-los na construção da linguagem científica utilizando de raciocínios proporcionais e sistematizados.

Durante esse processo e como ressalta Vygotsky, a linguagem é uma barreira a ser ultrapassada, e para isso se torna necessário alcançar uma linguagem comum. A linguagem da Ciência é algo já estabelecido, tendo como componentes as linguagens verbais e matemática,

assim como a utilização de outros recursos como tabelas e figuras. Porém, essa linguagem deve ser ensinada aos estudantes e pode ser reconstruída dentro do ambiente de estudo, fortalecendo assim os pensamentos e conhecimentos científicos em cada indivíduo ao aproximar-se com o cotidiano nessa reconstrução. Márquez *et al.* (2003 apud CARVALHO, A. M. P.(org.), 2013) traz dois processos que facilitam a associação dos vários tipos de linguagens: a cooperação, quando as linguagens reforçam os significados uns dos outros e a especialização, quando um novo significado é adicionado quando uma nova linguagem é acrescida.

Em um problema criado a partir de atividade em laboratório, dois rumos podem ser possíveis: executar como um laboratório tradicional, onde os alunos seguirão um roteiro fechado e linear, sem a possibilidade de utilizar suas experiências para encontrar um caminho para a resposta o problema, ou utilizar de uma atividade investigativa onde os alunos podem ter liberdade para agir de acordo com todas as concepções que lhe pertencem.

Carvalho (2010) descreve essa liberdade separando em 5 graus, onde a cada grau o professor proporciona maior liberdade aos alunos.

Tabela 2 – Graus de Liberdade do professor/aluno em aulas de laboratório.

	Grau I	Grau II	Grau III	Grau IV	Grau V
Problema	P	P	P	P	A
Hipótese	P	P	P	A	A
Plano de trabalho	P	P	A	A	A
Obtenção de dados	A	A	A	A	A
Conclusões	P	A	A	A	A

As letras P e A representam os graus de liberdade do Professor e aluno respectivamente.

Fonte: Carvalho (2010).

Na Tabela 2, as letras (P) e (A) representam, respectivamente, os graus de liberdades do professor e dos alunos. No primeiro grau temos o laboratório tradicional, onde os alunos só tem a liberdade para a coleta de dados, e todo o pensamento já está pronto. A cada grau de liberdade a frente, uma nova responsabilidade é dada a eles, tornando maior a participação deles na produção intelectual. A utilização desses graus de liberdades deve acontecer de acordo com evolução do aluno mediante a prática de laboratório. O laboratório de Grau I é importante para que o estudante possa se familiarizar com ambiente, assim como com as ferramentas que pode utilizar, até o ponto que se possa avançar para um protagonismo maior, nos graus maiores.

No ensino por investigação, o professor assume a função de mediador, buscando facilitar que os novos conceitos se relacionem às ideias âncoras, tendo em vista os subsunçores previamente identificados pelo docente. A sequência ao possuir níveis de dificuldade dentro da zona de desenvolvimento proximal, permite ao aluno testar hipóteses com base em seus conhecimentos.

Ao lidar com uma liberdade maior em sala de aula, é comum se deparar com respostas mal

elaboradas ou equivocadas, porém essas respostas devem receber uma atenção especial. Segundo Scarinci e Dias (2017), "os erros dos alunos são indícios da presença de ideias alternativas – isto é, diferentes das científicas – sobre o funcionamento do mundo empírico. Tais ideias não são ilógicas, ou seja, elas têm alguma estrutura interna, de modo que são vistas como razoáveis pelo indivíduo". Assim, o professor, na função de mediador, tem através do erro, uma ferramenta para descobrir novos subsunçores e a partir desses traçar novas estratégias na mediação do aprendizado.

Durante a atividade, a interação social atrelada a prática investigativa, estimula a argumentação, provocando a construção de conceitos generalizados que buscam encontrar soluções para problemas. Neste momento é importante que o professor sempre incentive a argumentação, independente do ponto de vista do aluno, devendo apenas evitar discussões desprovidas de argumentos. Como mediador, tem ainda a função de justificar argumentos que estão além do nível de conhecimento potencial dos alunos.

3 FUNDAMENTOS DA DINÂMICA SÍSMICA

Muitas vezes escutamos falar de terremotos ou sismos, dos efeitos causados por eles, tais como: estruturas balançando ou chegando a um colapso e criação de ondas gigantes, chamadas de tsunamis. Neste capítulo, serão apresentadas respostas a questionamentos relacionados à origem, propagação e classificação desses fenômenos.

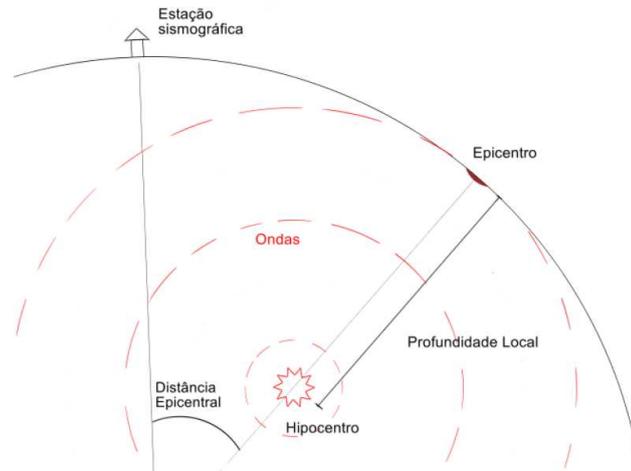
3.1 TERREMOTO

Segundo Wicander e Monroe (2009) terremoto é uma agitação ou tremor do solo causado pela liberação súbita de energia, geralmente como um resultado de uma falha, a qual envolve o deslocamento de rochas ao longo de fraturas. Os termos sismo e terremoto se referem ao mesmo fenômeno. Para caracterizar-lo, é necessário conhecer alguns parâmetros, que estão apresentados na Figura 1, são eles:

- a) Hipocentro, ou foco, é o ponto onde a energia foi liberada;
- b) Epicentro é o ponto na superfície que está localizado na direção radial que passa pelo hipocentro;
- c) Profundidade local é a distância entre o hipocentro e o epicentro;
- d) Distância epicentral é a distância entre o epicentro e a estação sismográfica, é normalmente medida com unidades de ângulos planos, com exceção de pequenas distâncias;
- e) Magnitude é uma medida do tamanho do terremoto. Essa grandeza está associada a quantidade de energia liberada pelo terremoto e com a amplitude das ondas liberadas;
- f) Intensidade é a grandeza associada aos efeitos, ou danos, causados pelo terremoto, diferente da magnitude a intensidade não depende apenas do sismo, mas da região onde ele foi observado e dos seres e estruturas nela presente.

Um sismo pode ter várias origens, mas podemos destacar quatro, a primeira são os sismos de origem tectônica, que são aqueles causados por falhas nas placas tectônicas ocasionados, normalmente pelo encontro de duas ou mais placas. Esses sismos podem acontecer em diversas profundidades dos mais fundos, passando de 600 km da superfície, e outros bem próximos da superfície.

Diagrama 1 – Parâmetros de um sismo.

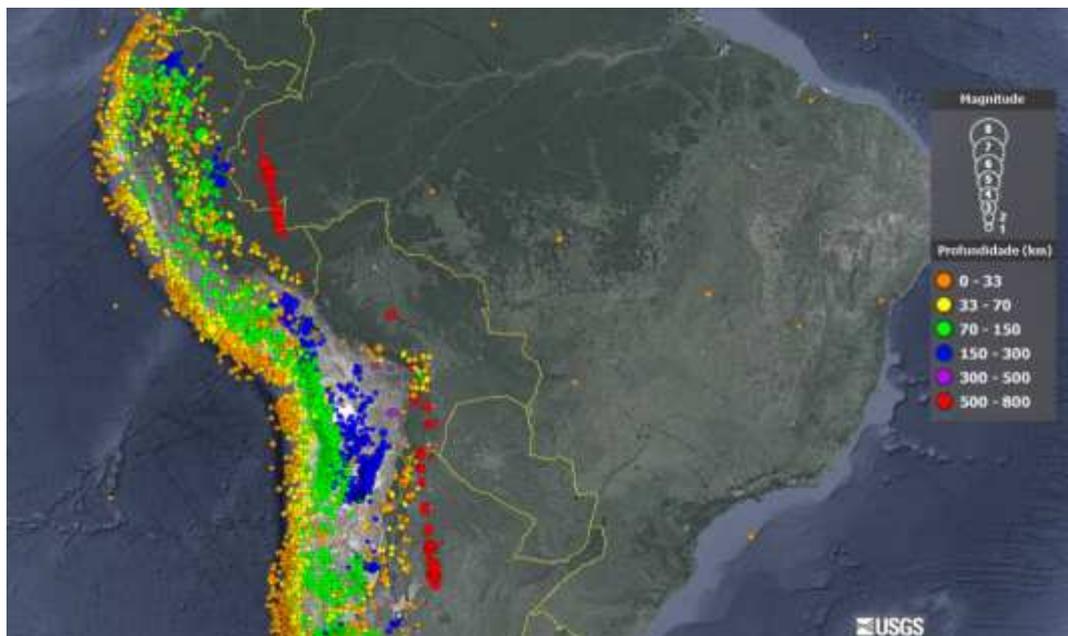


A figura mostra os parâmetros de um sismo, destacando suas posições e formas de medição;

Fonte: O Autor (2022).

A Figura 1 mostra a distribuição dos sismos ocasionados pelo encontro das placas de Nazca e Sul-americana. Podemos notar que os terremotos mais profundos, marcados em vermelho, se encontram a direita e os mais próximos da superfície, em verde e amarelo. Essa característica se dá pelo fato das falhas ocorrerem na placa de Nazca, que está afundando por baixo da Sul-americana.

Mapa 1 – Terremotos na América do Sul.



Mapa público do USGS mostrando os hipocentros de terremotos de janeiro de 2000 a janeiro de 2021 na América do Sul, com profundidade codificada em cores.

Fonte: United States Geological Survey (2021) ¹.

¹ Imagem obtida através do Catalogo da USGS Disponível em: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map>.

O segundo tipo é o de origem vulcânica, que, segundo McNutt (2015), podem ser gerados pelo fraturamento de rochas pela pressão do magma, movimentação de fluidos, explosões vulcânicas. Esse tipo de tremor tem frequências características variando entre 1 a 15 Hz e acontecem a poucas dezenas de quilômetros de profundidade.

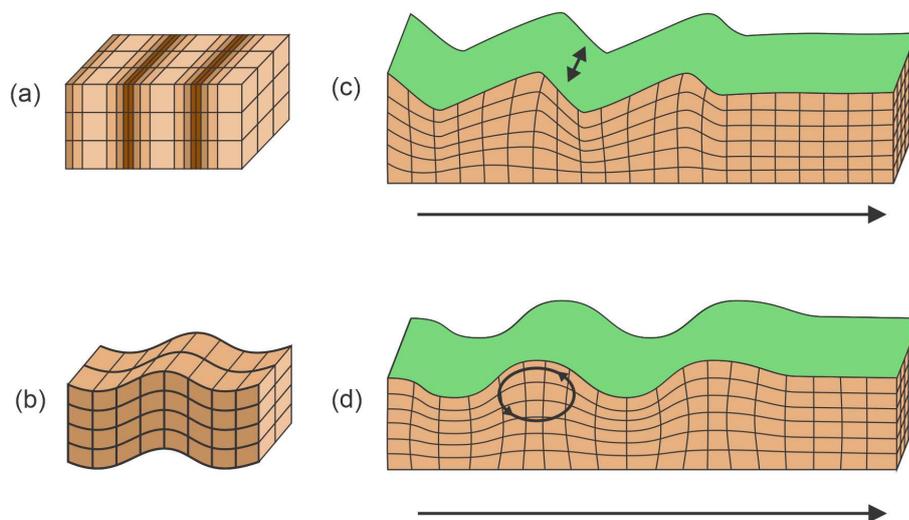
Os dois últimos tipos são de tremores mais fracos, os de origem secundárias normalmente são causados por acomodação de extratos superficiais e os sismos induzidos são aqueles causados pela interferência humana, normalmente na construção de reservatórios, e na escavação de minas.

3.2 AS ONDAS SÍSMICAS

As ondas sísmicas ou elásticas são ondas que se propagam pelo interior da Terra, causando uma deformação e restaurando a estrutura inicial, quando não ocorrer ruptura. Podemos caracterizar vários tipos de ondas sísmicas, dentre as principais estão: as ondas de corpo, P e S, e as ondas de superfície, R e L. Em distâncias menores que 100 km, entre o hipocentro e o local onde a onda foi observada, as ondas de corpo possuem energia maior que as de superfície, após essa distância, a situação se inverte.

As ondas de corpo são aquelas que passam pelo interior da Terra, e tendo o menor caminho a ser percorrida são as primeiras a serem detectadas. Segundo Toledo (2014) as ondas P ou ondas primárias (Figura 2a) são mais rápidas que as ondas S ou secundárias (Figura 2b), justificando a nomenclatura. Outra diferença entre elas é que as ondas P são longitudinais, comprimindo e dilatando o meio por onde passam, e as ondas S são ondas transversais, deslocando o solo perpendicularmente à direção de propagação.

Diagrama 2 – Ondas de corpo Primária (a) e Secundária (b), e das ondas de superfície de Love (c) e de Rayleigh (d).



As ondas de corpo se movimentam por dentro do solo, enquanto as ondas Love e de Rayleigh se movimentam pela superfície.

Fonte: O Autor (2022).

Dentre as ondas de superfície temos as ondas R ou de Rayleigh (Figura 2c) e as ondas L ou de Love (Figura 2d). As ondas R são ondas que provocam um movimento elíptico retrógrado, alinhado no plano vertical, nas partículas por onde elas passam. As ondas L são ondas transversais, polarizadas na horizontal na superfície.

3.3 CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE E MAGNITUDE DOS TERREMOTOS

Ao longo da história, várias escalas foram criadas para classificar terremotos, dentre elas três se destacam: a escala de Mercalli Modificada, para a intensidade e as escalas Richter e a de magnitude de momento, para a magnitude. A escala de Mercalli (Tabela 3) foi criada em 1902 por Giuseppe Mercalli, para classificar de forma qualitativa a intensidade dos terremotos, e em 1956 foi modificada por Charles Richter, versão que é utilizada nos dias atuais.

A escala Richter (Tabela 4) foi criada em 1935 por Charles Richter e Beno Gutenberg, para quantificar a magnitude de um sismo. Os valores dessa escala são calculados a partir da amplitude sísmica dos dados obtidos por um tipo específico de equipamento, o sismógrafo de torção de Wood-Anderson. Essa escala também é chamada de escala de magnitude local (M_L) e normalmente é utilizada para sismos com magnitudes até $6.9 M_L$ e com profundidade até 400 km.

A escala de magnitude de momento (M_w) foi desenvolvida por Thomas C. Hanks e Hiroo Kanamori, de maneira que os valores coincidissem com a escala Richter, entretanto ela mede a magnitude em termos da energia liberada pelo tremor. Ela é calculada através das seguintes características: área de ruptura ao longo da falha geográfica, o deslocamento médio dessa área, a tensão de cisalhamento aplicada sobre um corpo e a sua deformação. Por este motivo a escala M_w não possui limitação para verificação de magnitude de sismos.

Tabela 3 – Escala Mercalli modificada simplificada.

I	Imperceptível	Não sentido, exceto por muito poucas pessoas em circunstâncias excepcionalmente favoráveis.
II	Muito fraco	Sentido por pessoas em repouso, em andares superiores ou em localização favorável.
III	Fraco	Objetos pendurados podem balançar, vibração semelhante à passagem de caminhões leves.
IV	Moderado	Geralmente notado dentro de casa, mas não fora. Pessoas com sonos leves podem ser despertadas. A vibração pode ser comparada a passagem de tráfego pesado.
V	Forte	Praticamente sentido por toda a população. Pessoas adormecidas, acordam. Pequenos objetos instáveis são deslocados ou perturbados, vidros e louças podem quebrar.
VI	Bastante forte	É difícil andar com firmeza. Objetos caem das prateleiras. Danos leves nas habitações de barro e taipa. Móveis muito instáveis podem tombar.
VII	Muito Forte	Dificuldade em ficar de pé. Edificações de alvenaria podem cair. Muitas chaminés são danificadas. Notado por motoristas que podem parar.
VIII	Ruinoso	Direção de automóveis muito afetada. Danos acentuados em construções sólidas. Deslizamentos pequenos a moderados em cortes de beira de estrada e escavações sem suporte.
IX	Desastroso	Desmoronamento de alguns edifícios. Rachadura de terreno visível. Deslizamento geral em encostas íngremes.
X	Destruidor	A maioria das edificações são danificadas. Deslizamentos de terrenos suscetíveis, tendo massas rochosas muito grandes deslocadas em encostas íngremes.
XI	Catastrófico	Destruição da quase totalidade dos edifícios, mesmo os mais sólidos. Estruturas concebidas para minimizar danos de sismos sofrem pequenos danos.
XII	Cataclismo	Destruição total. Estruturas concebidas para minimizar danos de sismos sofrem danos moderados.

Graus iguais ou superiores VIII MM só são encontrados em terremotos de magnitude superiores a 7.0 M_L .

Fonte: O Autor (2022).

Com base nos dados de DOWRICK (1996).

Tabela 4 – Tabela de Magnitude para as escalas Richter e de magnitude de momento.

Descrição	Magnitude	Efeitos
Micro	< 2.0	Não perceptíveis.
Menor	2.0 a 2.9	Geralmente não sentido, porém detectado por sismógrafos.
Muito leve	3.0 a 3.9	Frequentemente sentido, mas raramente causa danos.
Leve	4.0 a 4.9	Tremor perceptível em objetos no interior de habitações, ruídos de chacoalho. Danos significativos improváveis.
Moderado	5.0 a 5.9	Pode causar grandes danos a edifícios mal construídos em pequenas regiões.
Forte	6.0 a 6.9	Pode ser destrutivo em áreas de até cerca de 160 quilômetros em torno do epicentro.
Maior	7.0 a 7.9	Pode causar sérios danos em áreas maiores.
Grande	8.0 a 8.9	Pode causar sérios danos em áreas com várias centenas de quilômetros de raio em torno do epicentro.
Extremo	9.0 a 9.9	Devastador em áreas com vários milhares de quilômetros de extensão.
Épico	>10.0	Desconhecido. Nenhum registro conhecido de terremotos dessa magnitude.

As escalas de magnitude de momento e Richter compartilham os mesmos valores, mudando apenas a forma de detecção.

Fonte: Earthquakes Today².

Adaptado pelo Autor (2022).

3.4 SISMOS NO BRASIL

É muito comum a ideia de que o Brasil não possui sismos, mas essa afirmação está longe da realidade. Em comparação com outras regiões do mundo, o Brasil tem uma sismicidade modesta, visto que se encontra no centro da placa Sul-Americana. Em números, a Rede Sismográfica Brasileira registrou entre os meses de agosto de 2020 e julho de 2021 quase 300 sismos no território nacional (Figura 2).

Os sismos no Brasil são causados principalmente por pequenas rachaduras ou desgastes na nossa placa e por reverberação dos sismos ocorridos nas regiões vizinhas. Já foram registrados no país, vários terremotos com sismicidade acima de $5,0 M_L$. Segundo Pereira, Ferreira e Bezerra:

Dezenas de relatos históricos sobre abalos de terra sentidos em diferentes pontos do país e eventos como o do Ceará (1980/mb=5.2³) e a atividade de João Câmara, RN (1986/mb=5.1⁴) mostram que os sismos podem trazer danos materiais, ocasionar transtornos à população e chegar, em alguns casos, a levar pânico incontrolável às pessoas.

² Disponível em: <https://earthquakestoday.info/richterscaletable.html> (Acesso em: 18 out. 2021)

³ equivale a $5.2 M_L$

⁴ equivale a $5.3 M_w$

Mapa 2 – Sismos registrados no Brasil entre agosto de 2020 e julho de 2021.



Nessa imagem, destaca-se a quantidade de sismos na região nordeste.

Fonte: Rede Sismográfica Brasileira (2021).

Observa-se casos no Brasil de sismos que provocaram danos, gerando inclusive pânico na população devido a falta de informações sobre esses eventos. Outros sismos de magnitude ainda maiores forem registrados na história do Brasil, como é o caso dos sismos de Mato Grosso no ano de 1955 ($6.2 M_L$), no litoral do Espírito Santo em 1955 ($6.3 M_L$) e no Amazonas em 1983 ($5.5 M_L$). Nesse período de agosto de 2020 a julho de 2021 alguns sismos se destacaram por sua magnitude, foram eles: os sismos de Amargosa na Bahia com $4.2 M_L$, Breves no Pará com $4.3 M_L$ e Rorainópolis em Roraima com $4.7 M_L$.

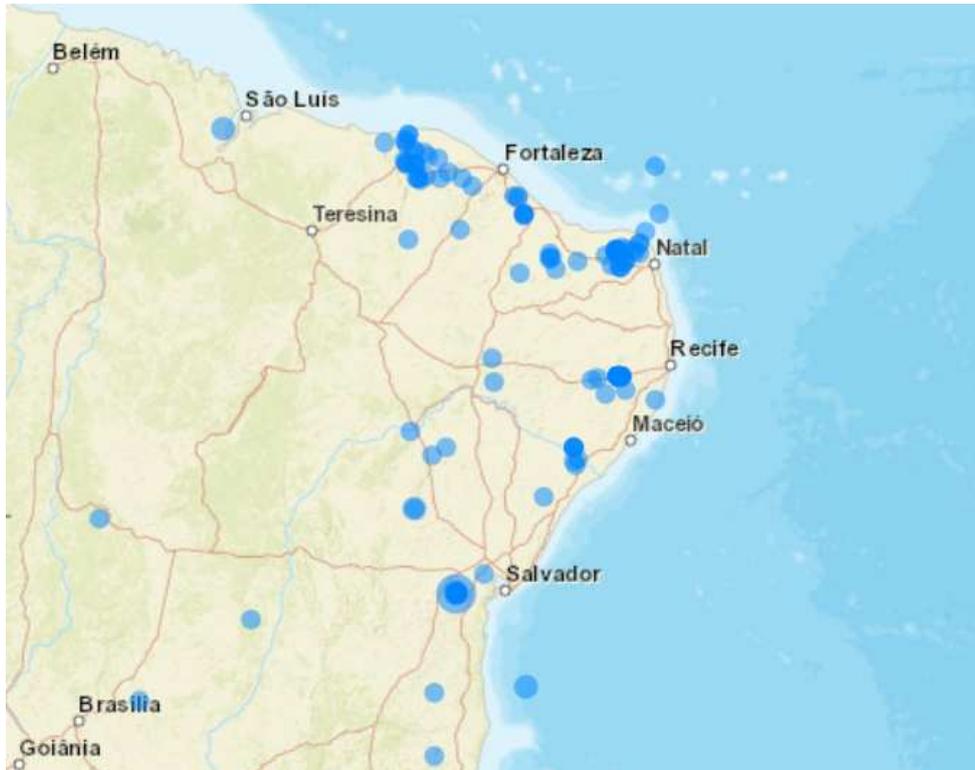
3.4.1 Sismos no Nordeste

O Nordeste é a região do Brasil com maior incidência de terremotos, tendo 141 registros dentre os 253 ocorridos no território nacional no ano de 2020 (Figura 3). Segundo Correia (2010) os terremotos recorrentes nessa região são frutos da compressão a que a placa Sul-Americana é submetida pela placa de Nazca em sua área de convergência e a célula de convecção, movimentação do magma entre as placas, com a placa Africana.

Ainda segundo Correia (Ibidem) o estado de Pernambuco se encontra sobre uma falha geológica que atravessa o estado iniciando nas proximidades da cidade de Recife até a divisa do

estado de Piauí. Essa falha é responsável por diversos sismos, se destacando a cidade de Caruaru, que no ano de 2020 registrou 18 sismos, sendo que a maior magnitude apresentada foi de 2.5 M_L . Nota-se, na Figura 6, a maior concentração de sismos em Caruaru em comparação com o resto do estado.

Mapa 3 – Sismos registrados na região Nordeste do Brasil no ano de 2020.



Maiores concentrações de sismos em CE, RN, PE e BA.

Fonte: Rede Sismográfica Brasileira (2021).

Mapa 4 – Sismos registrados em Pernambuco no ano de 2020.



Concentração de sismos na cidade de Caruaru.

Fonte: Rede Sismográfica Brasileira (2021).

4 OSCILAÇÕES MECÂNICAS

Neste capítulo serão trabalhados os conceitos físicos de oscilações simples, amortecidas e forçadas, ressonância e as energias nelas contidas. A ausência de outros conceitos como ondas, se dá pois os mesmos não estão presentes na sequência didática do produto educacional apresentado neste trabalho.

4.1 OSCILAÇÕES HARMÔNICAS SIMPLES

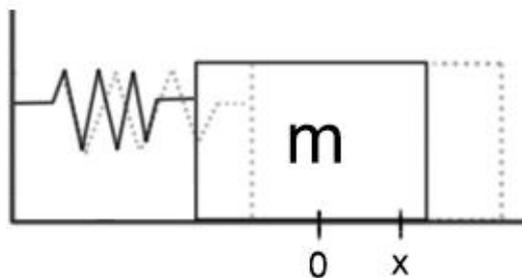
Quando nos referimos a um movimento que se repete, duas características podem ser observadas, podendo denominar de movimento harmônico ou periódico quando elas estão presentes. A primeira é a quantidade de repetições que acontecem nesse movimento em um determinado intervalo de tempo, tomando o tempo com valor unitário definimos a frequência desse movimento. A segunda característica é o tempo necessário para que um movimento completo aconteça antes de iniciar uma nova repetição e este tempo chamamos de período. Essas duas características estão relacionadas entre si pela expressão:

$$\tau = \frac{1}{f}. \quad (1)$$

Para um oscilador unidimensional, como em um sistema massa- mola (Figura ??), em uma direção arbitrária x , temos um movimento harmônico simples, quando os movimentos se repetem sempre com o mesmo intervalo de tempo, ou seja com um período, dessa forma podemos descrever a posição, pela função senoidal do tempo

$$x(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi). \quad (2)$$

Diagrama 3 – Sistema Massa mola.



Sistema com massa deslocada a uma posição x .

Fonte: O Autor (2022).

As condições iniciais dessa equação são a amplitude máxima A que determina a máxima distância que o corpo se afasta do centro de equilíbrio, a constante de fase ϕ está relacionada com a posição e velocidade inicial do movimento e a frequência angular ω_0 que está relacionada com as características do sistema, em um sistema massa-mola essas características são a massa e a constante elástica da mola, e podemos ver essa relação pela equação

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (3)$$

Para tornar mais prática a leitura, vamos definir a notação de derivada temporal como:

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} \quad (4)$$

e

$$\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (5)$$

Tomando as derivadas primeira e segunda da equação (2), obtemos as funções:

$$\dot{x}(t) = -\omega_0 A \operatorname{sen}(\omega_0 t + \phi) \quad (6)$$

e

$$\ddot{x}(t) = -\omega_0^2 A \cos(\omega_0 t + \phi). \quad (7)$$

substituindo (Eq. 2) em (Eq. (7) temos

$$x''(t) = -\omega_0^2 x(t). \quad (8)$$

Como estamos falando de um forma gerada por uma mola, e que o deslocamento deste corpo é pequeno, podemos considerar que a força que busca restaurar o corpo que está oscilando a uma posição de equilíbrio, é uma força do tipo descrita na lei de Hooke, com a expressão matemática, para uma dimensão como:

$$F_e = -kx. \quad (9)$$

onde k é a constante elástica. Igualando a segunda lei de Newton com a Eq. (9), obtemos a equação de movimento para um oscilador simples

$$m\ddot{x} = -kx \quad (10)$$

combinando Eq. (8) e Eq. (10) observamos que k , constante elástica, está relacionada com a frequência angular do oscilador conforme a seguinte passagem matemática:

$$m(-\omega_0^2 x) = -kx, \quad (11)$$

$$-m\omega_0^2 x = -kx, \quad (12)$$

$$k = m\omega_0^2. \quad (13)$$

4.2 OSCILAÇÕES AMORTECIDAS

Quando não estamos em um sistema conservativo, existe uma dissipação de energia, estas podem ocorrer devido a várias formas como pelo atrito entre os componentes e pela resistência do ar. Consideramos, para esse estudo, a força dissipativa proporcional a velocidade do centro de massa, visto que as oscilações que aqui discutidas possuem baixas velocidades:

$$F_d = -c\dot{x}. \quad (14)$$

Com acréscimo da força dissipativa, a Eq. (10) fica:

$$m\ddot{x} = -kx - c\dot{x}, \quad (15)$$

e

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (16)$$

dividindo toda a equação por m temos:

$$\ddot{x} + \frac{c}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0, \quad (17)$$

$$\ddot{x} + \gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = 0, \quad (18)$$

onde:

$$\gamma = \frac{c}{m}, \quad e \quad \omega_0^2 = \frac{k}{m}. \quad (19)$$

Como os coeficientes da equação diferencial ordinária homogênea de 2ª ordem (Eq. 18) são constantes, podemos encontrar uma solução através de substituição por equações exponenciais, na forma

$$x(t) = e^{pt}, \quad (20)$$

$$\dot{x} = pe^{pt}, \quad (21)$$

$$\ddot{x} = p^2 e^{pt}. \quad (22)$$

Dessa forma obtemos a equação característica

$$p^2 + \gamma p + \omega_0^2 = 0, \quad (23)$$

onde as raízes são

$$p_{\pm} = -\frac{\gamma}{2} \pm \sqrt{\frac{\gamma^2}{4} - \omega_0^2}. \quad (24)$$

4.2.1 Amortecimento Subcrítico

Quando $\frac{\gamma}{2} < \omega_0$ temos o amortecimento chamado de subcrítico onde o corpo pode passar várias vezes posição de equilíbrio antes de parar o movimento. Neste caso, a solução para a equação (24) é complexa, e reescrevemos ela como

$$p_{\pm} = -\frac{\gamma}{2} \pm i\omega \quad \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{\gamma^2}{4}}, \quad (25)$$

onde ω está associado a quantidade de passagens pelo ponto de equilíbrio, não sendo uma frequência propriamente dita como no caso das oscilações harmônicas simples.

Se tratando de um oscilador mecânico, tomamos a raiz positiva na Eq.(20) onde temos

$$x(t) = e^{-\frac{\gamma}{2}t} \cdot C e^{i\omega t}, \quad (26)$$

com $C = A e^{i\phi}$.

Visto que se trata de um sistema massa-mola, tomamos apenas a parte real, onde temos

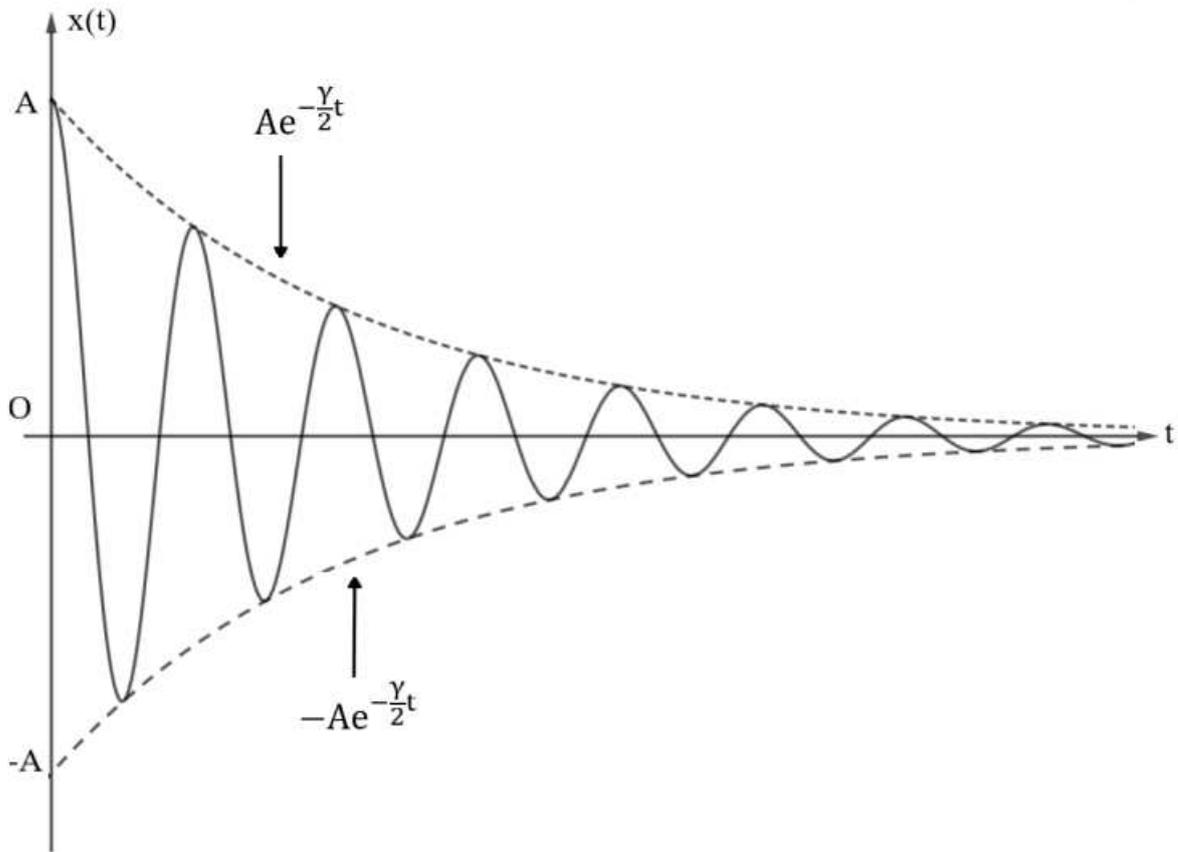
$$x(t) = A e^{-\frac{\gamma}{2}t} \cos(\omega t + \phi). \quad (27)$$

No caso de $\gamma \ll \omega_0$, um amortecimento fraco, o fator $A e^{-\frac{\gamma}{2}t}$ pode ser considerado como amplitude de oscilação lentamente variável, e as curvas $\pm A e^{-\frac{\gamma}{2}t}$ definem a envoltória da oscilação como mostra a Figura (1).

4.2.2 Amortecimento Supercrítico

Temos o amortecimento supercrítico quando o corpo desacelera até atingir a posição de equilíbrio sem oscilar. Para esse amortecimento, temos $\frac{\gamma}{2} > \omega_0$, tomamos uma solução de (18) com duas constantes reais arbitrárias, onde a combinação linear das soluções que correspondem às duas raízes da equação. (24):

Gráfico 1 – Oscilação amortecida com amortecimento subcrítico.



Destaca-se na figura as curvas envoltórias da oscilação.

Fonte: O Autor (2022).

$$x(t) = e^{-\frac{\gamma}{2}t} (ae^{\beta t} + be^{-\beta t}), \quad (28)$$

com

$$\beta = \sqrt{\frac{\gamma^2}{4} - \omega_0^2}. \quad (29)$$

4.2.3 Amortecimento Crítico

O amortecimento crítico, assim como no supercrítico, desacelera o corpo sem oscilar porem, está o amortecimento está no limite para impedir essa oscilação, tornando a desaceleração brusca. Nesse caso a equação característica (Eq. 28) possui duas soluções independentes e idênticas, visto que $\frac{\gamma}{2} = \omega_0$ torna a β na Eq. 29 igual zero. Tomando $\beta > 0$ a observamos que:

$$x(t) = e^{-\frac{\gamma}{2}t} \left(\frac{e^{\beta t} - e^{-\beta t}}{2\beta} \right). \quad (30)$$

é um solução, e tomando $\beta \rightarrow 0$, o fator entre parentes tende a

$$\left[\frac{d}{d\beta} (e^{\beta t}) \right]_{\beta=0} = t, \quad (31)$$

de forma que

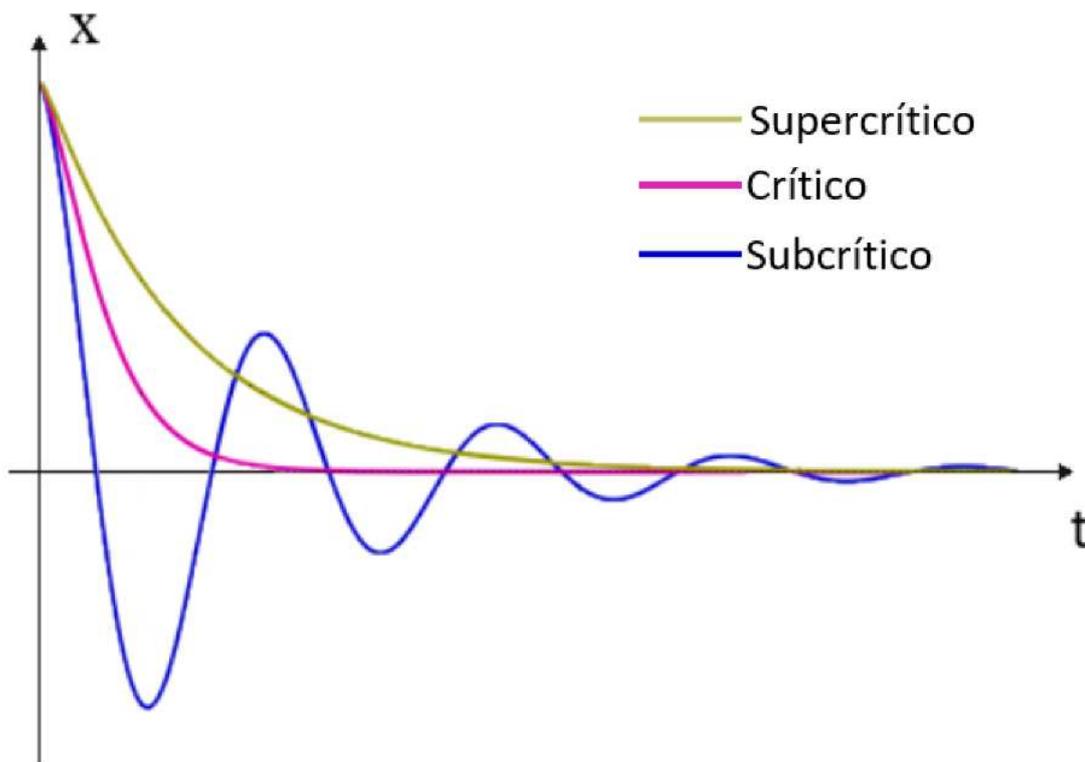
$$x_1(t) = t e^{-\frac{\gamma}{2}t}, \quad (32)$$

também é uma solução para $\omega_0 = \frac{\gamma}{2}$. Dessa forma chegamos a solução geral:

$$x(t) = e^{-\frac{\gamma}{2}t} (a + bt). \quad (33)$$

Na Figura 2 podemos observar as curvas características dos três tipos de amortecimento, onde ainda podemos notar que apenas no amortecimento subcrítico existe a oscilação.

Gráfico 2 – Curvas características dos amortecimentos



Podemos observar o descolamento do corpo nos três tipos de amortecimento.

Fonte: O Autor (2022).

4.3 OSCILAÇÕES FORÇADAS E AMORTECIDAS

Vamos considerar agora uma força externa periódica, atuando sobre o oscilador, a escolha dessa força se justifica diante a temática de terremotos, onde as forças exercidas sobre os corpos

são oriundas das ondas sísmicas.

$$F(t) = F_0 \cos(\omega t), \quad (34)$$

a equação do oscilador amortecido (15), acrescida da força externa periódica torna-se:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \cos(\omega t). \quad (35)$$

Dividindo toda a Eq. (35) pela massa temos:

$$\ddot{x} + \gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos(\omega t). \quad (36)$$

Para um estado estacionário, quando a frequência angular da oscilação corresponde a frequência da força externa, é possível encontrar uma solução particular tomando a notação complexa $x(t) = \text{Re} z(t)$, onde obtemos a solução

$$x(t) = \text{Re} z(t) = A(\omega) \cos[\omega t + \phi(\omega)], \quad (37)$$

onde

$$z(t) = A e^{i(\omega t + \phi)} \quad (38)$$

e tendo

$$A^2(\omega) = \frac{(F_0)^2}{m^2 [(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2 \omega^2]}. \quad (39)$$

4.3.1 Ressonância

A amplitude de uma oscilação forçada está diretamente relacionada com frequência angular da força externa, expressa por:

$$A^2(\omega) = \left(\frac{F_0}{2m\omega_0} \right)^2 \frac{1}{\left[(\omega - \omega_0)^2 + \frac{\gamma^2}{4} \right]}. \quad (40)$$

Quando temos a situação em que, a frequência natural da oscilação, o número de oscilações por segundos capaz de produzir harmônicos, é igual à frequência da força externa caracteriza-se um fenômeno chamado de ressonância, e assim a oscilação atinge sua amplitude máxima. Podemos obter a frequência angular natural e a frequência natural por:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (41)$$

e

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (42)$$

Para um amortecimento fraco, $\gamma \ll \omega_0$, a amplitude em uma oscilação forçada amortecida em ressonância é dada por:

$$A_{max} = A(\omega_0) = \frac{F_0}{m\omega_0\gamma}. \quad (43)$$

Podemos notar em (Eq. 43) que, quando $\gamma \rightarrow 0$ temos $A_{max} \rightarrow \infty$, ou seja a amplitude com a passagem do tempo ira aumentando indefinidamente, em um oscilador real causará o colapso do sistema.

4.4 ENERGIA NAS OSCILAÇÕES

Em uma oscilação amortecida, com amortecimento subcrítico, temos que a energia mecânica no instante t é dada por:

$$E(t) = \frac{1}{2}m\dot{x}^2(t) + \frac{1}{2}kx^2(t). \quad (44)$$

Como possui amortecimento, essa energia não é mais conservada e possui uma taxa de variação definida por:

$$\frac{dE}{dt} = m\dot{x}\ddot{x} + kx\dot{x} = \dot{x}(m\ddot{x} + kx), \quad (45)$$

ou seja, por (Eq. 15),

$$\frac{dE}{dt} = -m\gamma\dot{x}^2. \quad (46)$$

Quando acrescido uma força externa periódica, a taxa de variação de energia no sistema passa a ser:

$$\frac{dE}{dt} = -m\gamma\dot{x}^2 + P(t), \quad (47)$$

onde

$$P(t) = F(t)\dot{x}(t). \quad (48)$$

Nessa equação (Eq. 47) observamos que $-m\gamma\dot{x}^2$ é a potência dissipada e $F(t)\dot{x}(t)$ a potência fornecida pela força externa.

Em um regime estacionário a média da variação da energia em um período de tempo é nula, com isso podemos escrever a média da potência da força externa como:

$$\bar{P} = m\gamma\overline{\dot{x}^2}. \quad (49)$$

Nesse regime a energia média armazenada pelo sistema é:

$$\bar{E} = \frac{1}{2}m\overline{\dot{x}^2} + \frac{1}{2}m\omega_0^2\overline{x^2}. \quad (50)$$

com:

$$\overline{x^2} = A^2\overline{\cos^2(\omega t + \phi)} \quad (51)$$

e

$$\overline{\dot{x}^2} = \omega^2 A^2\overline{\sin^2(\omega t + \phi)}. \quad (52)$$

Tomando uma igualdade matemática muito conhecida, o valor médio das funções quadrado do cosseno e quadrado do seno, se tornam funções pares com valor médio igual a $\frac{1}{2}$.

$$\overline{\cos^2(\omega t + \phi)} = \overline{\sin^2(\omega t + \phi)} = \frac{1}{2}. \quad (53)$$

Substituindo os resultados de (53) em (51) e (52) obtemos:

$$\overline{x^2} = \frac{1}{2}A^2, \quad (54)$$

e

$$\overline{\dot{x}^2} = \frac{1}{2}\omega^2 A^2, \quad (55)$$

podemos agora reescrever a Eq. (50) como:

$$\bar{E} = \frac{1}{4}m(\omega^2 + \omega_0^2)A^2. \quad (56)$$

Podendo assim observar a média da energia presente em um oscilador, através das frequências nele presente.

5 TECNOLOGIAS SÍSMICAS

Neste capítulo será descrito um breve histórico de tecnologias desenvolvidas ao longo da história que estão relacionadas com a temática de terremotos. A primeira é a mesa de agitação sísmica, uma plataforma oscilante que tem o intuito de promover vibrações que simulam sismos e a segunda tecnologia é um sistema atenuador de vibrações para edificações, o Atenuador Dinâmico Sintonizado (ADS).

5.1 AS MESAS DE AGITAÇÃO SÍSMICAS

Segundo Silva (2020), acredita-se que as primeiras pesquisas com a intenção de prever desastres causados por terremotos são do século 18, em Portugal, a partir do projeto de reconstrução de Lisboa após ser atingido por um terremoto com magnitude estimada entre 8,5 e 9 na escala Richter. Os primeiros sistemas, associados a esta época, são modificações nos materiais utilizados nas construções, procurando a utilização de materiais mais flexíveis.

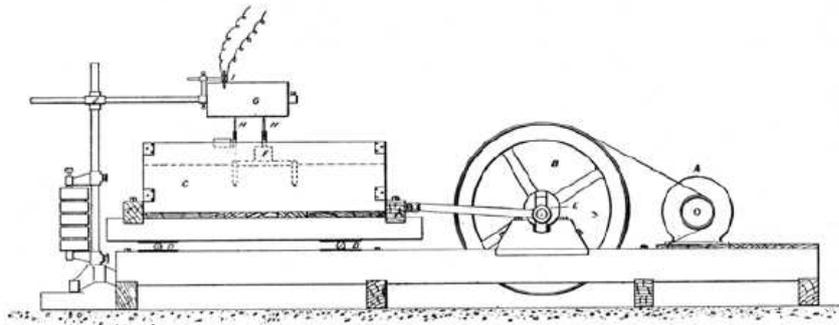
Ao final do século 19, a indústria de construção começou a ter a necessidade de um equipamento que conseguisse provocar oscilações, de forma a simular vibrações em estruturas com o intuito de resolver problemas que surgiam por esta época. A evolução desses equipamentos foi interrompida pela Segunda Guerra Mundial e ao fim dela, alguns avanços tecnológicos obtidos, foram aplicados no conceito desses equipamentos.

A primeira mesa de agitação sísmica, segundo Severn, Stoten e Tagawa (2012) que se tem conhecimento foi construída no ano de 1890 no Japão e funcionava com rodas sobre trilhos de trem e seu movimento era produzido manualmente através de manivelas. Em 1906 uma mesa semelhante (Figura 1) foi construída na Universidade de Stanford na Califórnia por F. J. Rogers, esta por sua vez era movida por um motor elétrico, tornando possível controlar a velocidade das rodas que provoca a oscilação.

Na mesma universidade, no ano de 1930, foi desenvolvida por Lydik S. Jacobsen uma nova mesa (Figura 2) que também funcionava sobre trilhos, porém sua oscilação era causada por um pêndulo que empurrava a mesa, e na outra ponta, uma mola fazia a mesa retornar. Também produziu outra mesa com uma roda que girava desequilibradamente sobre a mesa, provocando um movimento harmônico com uma frequência controlada pela velocidade da roda.

Em 1934 foi inventada a primeira mesa com oscilação bidimensional por A.C. Ruge no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, onde consistia em uma plataforma sobre um tanque de óleo onde as oscilações eram provocadas por uma bomba.

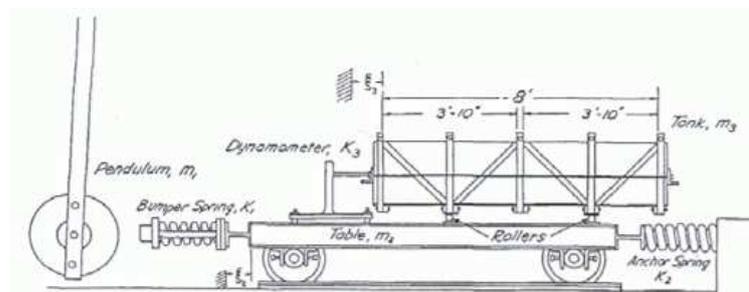
Figura 1 – Mesa de agitação sísmica de F. J. Rogers.



Mesa sobre trilhos de trem com movimentação manual.

Fonte: Reitherman (2006, p. 27).

Figura 2 – Mesa de agitação sísmica de L. S. Jacobsen.



Mesa sobre trilhos de trem com movimentação provocada por oscilação de um pêndulo.

Fonte: Severn et al. (2012).

5.2 SISTEMAS DE CONTROLE DE VIBRAÇÕES

Durante o século 20, outros vários sistemas foram produzidos, inicialmente sistemas passivos, que utilizam o próprio movimento da estrutura para dissipar a energia. Um desses sistemas é o Atenuador Dinâmico Sintonizado, que consiste de um oscilador amortecido acoplado à edificação. Esse tipo de amortecimento se torna limitado, pois evita apenas vibrações em uma determinada faixa de frequência.

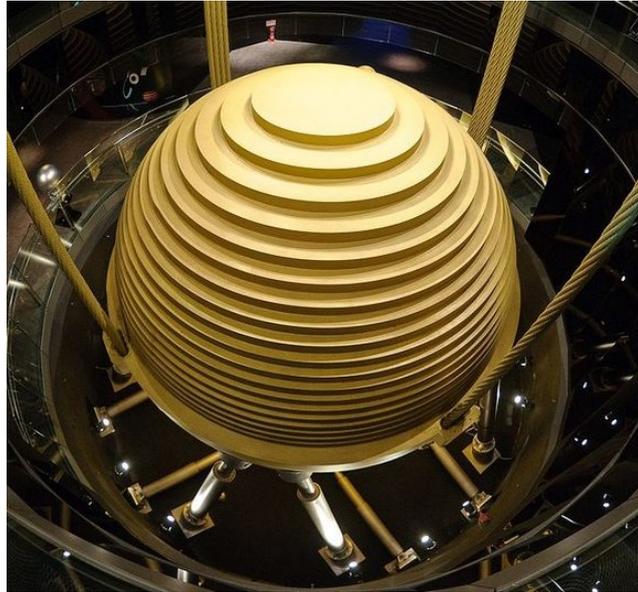
Esse tipo de atenuador é constituído basicamente de uma massa, um sistema de molas e amortecedores ou de pendulos amortecidos e normalmente é posicionado no topo das estruturas. O ADS é fabricado de forma que sua frequência natural esteja sintonizada com a da estrutura a qual ele foi feito para controlar as vibrações. Podemos ver nas figuras (1) e (2) alguns exemplos de ADS.

Os sistemas ativos foram desenvolvidos desfrutando de energia externa, essa energia é utilizada para aplicar uma força na estrutura, tendo a possibilidade de se adaptar a diversas condições. Pode-se utilizar, também, o sistema semi-ativo, que atua como um sistema passivo na forma de dissipação de energia, porém utiliza da energia externa para se ajustar de acordo com a

resposta da estrutura à oscilação.

Os sistemas híbridos consiste em sistemas que possuem atenuadores ativos e passivos. Os sistemas ativos nele apresentam buscam aumentar o desempenho do sistema passivo, aumentando o movimento da massa, e compensar problemas de sintonização de frequência do sistema passivo.

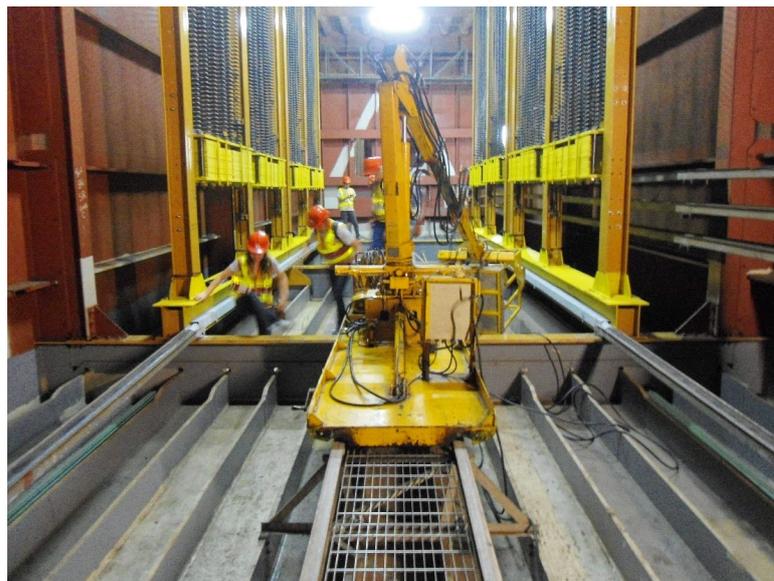
Fotografia 1 – Atenuador do Prédio Taipei 101



Atenuador do tipo pendulo localizado no topo do prédio Taipei 101 em Taiwan.

Fonte: Armand du Plessis (2010)

Fotografia 2 – Atenuador da ponte Rio Niterói



ADS do tipo massa-mola da Ponte Presidente Costa e Silva, popularmente conhecida como Ponte Rio-Niterói.

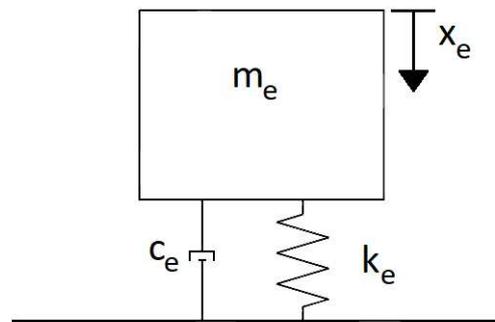
Fonte: PET-Civil da UFPR (2014)

5.3 COMPORTAMENTO DE EDIFICAÇÕES COMO OSCILADORES

Nessa seção traremos um modelo matemático de um ADS do tipo massa-mola amortecido em uma edificação. Para podermos entender o comportamento de uma edificação, tomaremos uma estrutura como um sistema de um grau de liberdade, contendo um oscilador forçado amortecido. Dessa forma, podemos tratá-la, de uma forma simplificada, como um sistema massa-mola (Figura 4) como o descrito por (15), e considerando que essa estrutura está sobre ação de uma força do tipo da equação (34), temos a equação do movimento da estrutura, considerando um grau de liberdade como:

$$m_e \ddot{x}_e + c \dot{x}_e + k_e x_e = F_0 \cos(\omega t). \quad (57)$$

Diagrama 4 – Sistema com 1 Grau de Liberdade.



Sistema representa a estrutura da edificação como um sistema massa-mola amortecido.

Fonte: O Autor (2022).

onde, nesse modelo, m_e é a massa da estrutura, x_e o deslocamento dessa massa, k_e a constante elástica da mola e c_e representa o amortecimento da estrutura, onde as duas últimas estão associadas a rigidez da estrutura. A escolha desse modelo foi feita levando em consideração o produto educacional.

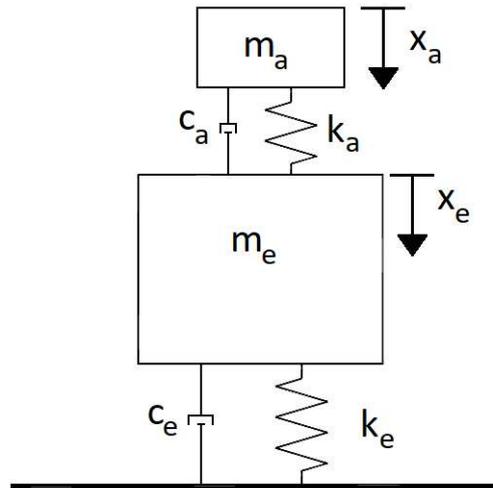
A frequência natural da estrutura é calculada por:

$$\omega_e = \sqrt{\frac{k_e}{m_e}}. \quad (58)$$

Ao acrescentarmos o Atenuador Dinâmico Sintonizado, entramos em um sistema com dois graus de liberdade, como representado na Figura 5, onde m_a é a massa do atenuador, x_a o seu deslocamento, k_a a constante elástica de mola do atenuador e c_e representa o amortecimento dele:

A frequência natural do amortecedor é dada por:

Diagrama 5 – Sistema com 2 Graus de Liberdade



Sistema representado na estrutura da edificação com o ADS acoplado.

Fonte: O Autor (2022).

$$\omega_a = \sqrt{\frac{k_a}{m_a}}. \quad (59)$$

Para que a supressão do deslocamento seja máxima, ou seja para que o atenuador diminua ao máximo possível a amplitude de oscilação, a condição de $\omega_e = \omega_a$ é necessária e podemos aferir a partir das relações:

$$\omega_a = \omega_e \Leftrightarrow \frac{k_a}{m_a} = \frac{k_e}{m_e} \Leftrightarrow \frac{k_a}{k_e} = \frac{m_a}{m_e}. \quad (60)$$

Com dois graus de liberdade, as equações que descrevem o movimento se tornam:

$$\begin{cases} m_e \ddot{x}_e + c_e \dot{x}_e + c_a (\dot{x}_e - \dot{x}_a) + k_e x_e + k_a (x_e - x_a) = F_0 \text{sen}(\omega t) \\ m_a \ddot{x}_a + c_a (\dot{x}_a - \dot{x}_e) + k_a (x_a - x_e) = 0 \end{cases} \quad (61)$$

que em um regime permanente, os osciladores se comportam como Movimentos Harmônicos Simples e portanto temos:

$$\begin{cases} x_e(t) = x_{e0} \cos(\omega t) \\ \dot{x}_e(t) = -\omega x_{e0} \text{sen}(\omega t) \\ \ddot{x}_e(t) = -\omega^2 x_{e0} \cos(\omega t) \end{cases} \quad (62)$$

e

$$\begin{cases} x_a(t) = x_{a0}\cos(\omega t) \\ \dot{x}_a(t) = -\omega x_{a0}\sin(\omega t) \\ \ddot{x}_a(t) = -\omega^2 x_{a0}\cos(\omega t) \end{cases} \quad (63)$$

assim podemos tratar as expressões (63) como

$$\begin{cases} -m_e\omega^2 x_{e0}\cos(\omega t) - c_e\omega x_{e0}\sin(\omega t) - c_a\omega(x_{e0} - x_{a0})\sin(\omega t) + \\ \quad + k_e x_{e0}\cos(\omega t) + k_a(x_{e0} - x_{a0})\cos(\omega t) = F_0\cos(\omega t) \\ -m_a\omega^2 x_{a0}\cos(\omega t) - c_a\omega(x_{a0} - x_{e0})\sin(\omega t) + \\ \quad + k_a(x_{a0} - x_{e0})\cos(\omega t) = 0 \end{cases} \quad (64)$$

Tendo assim as equações de equilíbrio dinâmico que regem o movimento (64) da estrutura do prédio e do atenuador em função do tempo.

6 PRODUTO EDUCACIONAL

Nesse capítulo abordaremos sobre a metodologia utilizada, bem como o desenvolvimento na elaboração e construção do produto educacional, constituído de um equipamento e uma sequência didática, as condições no qual ele foi implantado, e a trajetória até a obtenção dos dados.

Esse experimento e a sequência didática a ele associada foram pensados visando aproximar temas envolvendo terremotos, vistos que são assuntos presentes no cotidiano dos estudantes ao longo do Brasil, mesmo não havendo a ocorrência de terremotos de grandes magnitudes, são registrados mais de 15 sismos por mês apenas na região nordeste do país. Diante dessas ocorrências, é muito prudente uma explicação científica desses fenômenos e dos efeitos causados por eles, que poderia, inclusive iniciar no ensino fundamental.

6.1 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Essa sequência didática foi desenvolvida de forma a trabalhar em conjunto com o produto educacional aqui apresentado, tendo como principal objetivo colocar os alunos em uma posição de maior protagonismo, onde eles possam, através do auxílio dos colegas e do professor(a), se desenvolverem cognitivamente e socialmente.

Essa sequência tem como diferencial, a construção dos conhecimentos através da experimentação, onde os mesmos são transformados através das interações aluno-aluno e aluno-professor(a). Essas interações permitem um compartilhamento dos conhecimentos, prévios e adquiridos, de forma a reduzir as diferenças entre as Zonas de Desenvolvimento Proximal dos alunos.

6.1.1 Principais Aspectos da Sequência Didática.

6.1.1.1 Apresentação.

A apresentação da proposta da sequência didática, aos alunos, deve ser feita dando ênfase às práticas necessárias e características do ensino por investigação. Também nesse momento deve ser comunicado a eles sobre os resultados esperados, de forma que não fique dúvidas do processo.

Ainda nesse momento, o(a) professor(a) deve expor aos alunos quais serão as primeiras atividades a serem feitas, deixando claro a eles que essas atividades tem como intuito saber quais conhecimentos eles já possuem e a partir deles construir novos conhecimentos. Nas atividades da sequência, o(a) professor(a) deve tranquilizar os alunos, de forma que eles participem, estando o mais à vontade possível.

6.1.1.2 Desenvolvimento da Experimentação.

Para que a sequência didática seja aplicada de forma eficiente, os alunos devem estar familiarizados com práticas experimentais. Neste momento o(a) professor(a) deve dialogar com os alunos, trabalhando temas como hipótese, experimentação, exploração, interpretação de dados e conclusão.

Se faz necessário também uma familiarização com o ambiente de um laboratório, caso o(a) professor(a) opte por utilizá-lo, um ambiente como esse traz maiores variedades de práticas, porém tira o aluno de sua zona de conforto, podendo gerar implicações negativas no seu aprendizado.

6.1.1.3 Desenvolvimento do Pensamento Crítico.

Destaca-se que o desenvolvimento do pensamento crítico, é um dos principais aspectos nessa sequência, portanto a aprendizagem dos conceitos trabalhados durante a sequência não devem ser facilitadas ao ponto de prejudicar o desenvolvimento do pensamento crítico. Nessa sequência o(a) aluno(a) deve ser capaz, através do processo de investigação, desenvolver os conhecimentos a partir de hipóteses, desenvolvendo assim, não apenas um conhecimento específico dentro dos temas da física, mas principalmente seu pensamento crítico e investigativo.

6.1.2 Das Funções.

Dentro desta proposta de ensino, tanto o professor, quanto o aluno devem estar cientes de suas atribuições, sendo o somatório delas essencial para uma aprendizagem significativa por parte do aluno. A sequência didática e o experimento, trazem consigo funções que facilitam e direcionam essa aprendizagem.

6.1.2.1 Da Sequência Didática.

Esta sequência didática tem o intuito de trabalhar temas que envolvem sismo, visto que existe pouca exploração desse tema, principalmente de um ponto de vista físico. Essa temática se faz necessária pois, muitos estudantes que vivenciaram eventos relacionados a terremotos, porém carecem de conhecimentos científicos relacionados a esses eventos.

Ainda dentro da temática, os conceitos físicos de oscilações, ressonância, trabalho e energias cinética, potencial gravitacional e elástica, são trabalhados a partir da temática dos terremotos.

Ela vem também com o intuito de facilitar o processo de ensino aprendizagem, bem como para proporcionar ao professor uma prática que permita trabalhar os conhecimentos prévios dos alunos de uma forma eficiente, alcançando todos os alunos em períodos curtos, como são a duração das aulas. Para isso, a sequência tem como base três importantes características.

As Experiências Vividas

Todo indivíduo carrega consigo uma série de experiências já presenciadas, e elas moldam a forma com que ele pensa. A associação dessas permite não só a compreensão do conteúdo, mas também a internalização e familiarização do mesmo.

A descoberta

Descobrir algo novo proporciona muito entusiasmo e interesse do que quando simplesmente alguém lhe diz, desenvolver a capacidade do aluno de criar hipóteses e testá-las não só o torna mais apto a aprender, como também lhe proporciona autonomia nesse processo.

A Partilha de Ideias

Ao começar a partilhar as ideias que surgirão no meio das atividades, o aluno experimenta um crescimento em vários aspectos, quanto ao conhecimento, o aluno experimenta ideias novas, vindo de outros alunos, lhe possibilitando novas associações cognitivas, permite ainda desenvolver seu pensamento crítico ao se deparar com situações conflitantes no meio das hipóteses propostas.

Compartilhar ideias não só permite um crescimento cognitivo, mas também social, com um mesmo assunto para todos, oriundo da problemática, damos aos alunos oportunidade de se conhecerem, de compartilharem experiências conectadas à problemática. Assim, permite que eles se descubram diferentes, e que essas diferenças, dentro do convívio se tornem algo natural, diminuindo a distância entre os mesmos e aumentando o respeito, a empatia e a responsabilidade para com o outro.

6.1.2.2 Do Experimento

A principal função do experimento é como motivador, carregando a temática envolvendo terremotos, que em várias regiões do Brasil são presenciadas, agregado a isso, ainda traz para a prática experimental a aplicação de uma tecnologia mundialmente utilizada, o ADS.

O experimento ainda possibilita ao aluno uma interação maior, com o conteúdo abordado, tornando ele não um espectador, mas um participante do processo.

6.1.2.3 Do Professor

Podemos descrever as funções do professor nessa sequência através de três conceitos:

1^o. Expositor: Como primeira função o professor deve deixar claro aos alunos o que vai ser feito, demonstrando com clareza as propostas das atividades a serem executadas, orientando os alunos de forma que eles se sintam seguros em desenvolvê-las.

2º. Facilitador: O(A) professor(a) deve procurar criar situações que facilitem o aprendizado do aluno, para tal deve buscar conhecer o máximo possível seus alunos, para que assim melhor adequem às situações aos alunos. Essas situações devem estar relacionadas com as experiências vividas e conhecimentos já obtidos pelos alunos.

3º. Mediador: Colocando o aluno como protagonista, o professor após a explicação, deve acompanhar o desenvolvimento das atividades, sempre incentivando os alunos, provocando-os com problemas que facilitem o aprendizado, e quando necessário fazendo intervenções de forma que o aluno consiga desenvolver a aprendizagem de forma apropriada.

6.1.2.4 Do Aluno

O aluno terá o papel de protagonista, a ele cabe a função do agente ativo na sequência didática, o interesse pela descoberta, de completar as etapas e de resolver os problemas propostos, sendo essas suas atribuições.

Na proposta o aluno tem um papel social, que durante as etapas de forma coerente com as atividades, deve buscar compartilhar ideias, procurar solução em conjunto e explorar cada etapa da sequência com os demais colegas.

Dentro da sequência didática a partir das situações e problemas apresentados pelo(a) professor(a) os alunos devem criar hipóteses, discutir e executar em grupos um plano de trabalho, e obter os dados necessários para produzir uma conclusão que deve ser feita em classe, com a mediação do(a) professor(a).

6.2 DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Essa sequência visa possibilitar aos alunos um desenvolvimento do pensamento crítico, a partir de um processo investigativo onde o aluno, junto a seus colegas de turma, explorem fenômenos físicos e através de problematizações construam conhecimentos espontâneos e científicos. Colocando os alunos como protagonistas, a sequência também visa desenvolver características como: autonomia, responsabilidade, criatividade e confiança, e ao colocá-los em contato, dialogando e debatendo ideias, competências como respeito e empatia também são desenvolvidas.

6.2.1 A Parte Expositiva

A exposição pode ser feita utilizando de forma presencial ou remota síncrona, para. Os conteúdos teóricos relacionados aos conceitos físicos foram expostos sempre após as atividades experimentais em debates envolvendo-as. Antecedendo as práticas experimentais foi feita a exposição de temas necessário para a metodologia do ensino por investigação, como os conceitos de: hipótese, experimentação, obtenção e interpretação de dados.

6.2.1.1 O Ensino por Investigação

Demonstrar e descrever as etapas do ensino por investigação, trabalhando os conceitos de problema, hipótese, experimentação, exploração, obtenção e interpretação de dados e conclusão. Cabendo ao(à) professor(a) apresentar as situações e problemas a serem resolvidos e na elaboração em conjunto com os alunos da conclusão, as demais etapas devem ser feitas por eles, com mediação do(a) professor. As etapas podem ser ajustadas de acordo com a familiaridade dos alunos com as práticas experimentais, reduzindo o grau de liberdade da mesma. Trabalhar conceitos de proporcionalidade, para que os alunos se tornem mais aptos a conceituar com uma linguagem matemática.

6.2.1.2 Sismos

Demonstrar de forma simples, sobre como os sismos se propagam, de forma que os alunos possam associar esses eventos aos conceitos físicos trabalhados.

6.2.1.3 Oscilações

Demonstrar de forma contextualizada os conceitos envolvendo oscilações, tomando como ponto de partida os conceitos produzidos pelos alunos durante os debates após as práticas investigativas.

6.2.1.4 Trabalho e Energia

Através das conclusões obtidas pelos alunos em torno dos conceitos de trabalho, energia mecânica, cinética, potencial elástica e gravitacional, deve-se demonstrar os conceitos científicos de forma que os conceitos espontâneos possam reduzir as abstrações existentes neles.

6.2.2 Atividade Experimental

Essa parte é constituída de explorações feitas pelos alunos ao experimento, e mediada pelo professor. Para uma aplicação remota síncrona é utilizado vídeos das possíveis interações com o equipamento do produto educacional, de forma que o aluno possa interagir livremente com equipamento, mesmo de forma remota. A montagem do experimento é desenvolvida pelo professor, podendo ser feita com os alunos em sala de aula. O experimento permite aos alunos desenvolverem os conceitos físicos através da investigação, partindo de problemáticas lançadas pelo professor e utilizando de noções de proporcionalidade.

6.2.2.1 Oscilações

Apresentando apenas a mesa de agitação sísmica, o professor deve provocar os alunos a buscar compreender a oscilação, onde os mesmos interagindo com o equipamento possam buscar suas características. Dentre as interações possíveis com essa parte do experimento, estão a

variação da frequência angular do motor, através da variação da corrente elétrica e da amplitude da oscilação, através do deslocamento do eixo do braço de força.

6.2.2.2 Ressonância

O professor deve acoplar a estrutura do prédio à mesa de agitação sísmica, deixando o ADS travado, e deve provocar os alunos a interagirem com o equipamento novamente, levantando a problemática dos efeitos causados pela oscilação na edificação. As interações possíveis continuam sendo as mesmas do experimento anterior, porém os resultados vistos serão diferentes. O professor deve mediar o experimento de forma que os alunos percebam que o efeito de oscilação na edificação será maior quando se aproxima de uma determinada frequência. O professor deve ainda provocar para que os alunos tentem achar um porquê para essa situação.

6.2.2.3 Trabalho e Energia

Nessa etapa o professor deve apresentar todo o experimento para os alunos, mostrando a eles a possibilidade de destravar o ADS, e variar sua massa e constante elástica. Devido a disposição dos conceitos no currículo, onde energia e trabalho estão atrelados ao conceito de força, e visto que este último já é um conceito abstrato, o aluno pode ter maiores dificuldades na construção desses conceitos, podendo fazer-se necessário uma intervenção, adicionando a ideia de energia durante a exploração do equipamento, mas é importante que as relações entre as grandezas como velocidade, massa, constante elástica e altura com a energia seja observada pelo aluno.

6.2.3 Parte Argumentativa

Após cada etapa da prática experimental, o professor deve incentivar os alunos a trocarem experiências, culminando em definições únicas da turma para cada conceito trabalhado. Nesse momento, o professor pode utilizar de uma lousa para ajudar os alunos a organizar as ideias expostas.

6.2.4 Calendário de Atividades

Esta seção contém a organização dos encontros a serem desenvolvidos, com suas etapas organizadas, bem como o objetivo de cada encontro descrito. Essas informações podem ser visualizadas na tabela 5:

Tabela 5 – Quadro de atividades

Encontros	Atividades	Duração	Objetivos
1 ^o	Apresentação da sequência didática	10 min	Apresentar a sequência didática, explicar sobre a metodologia, promover interesse dos alunos no processo de aprendizagem e gerar um parâmetro comparativo.
	Apresentar a proposta do ensino por investigação e dos conceitos a ela pertencentes.	10 min	
	Aplicação do Pré-Teste.	40 min	
2 ^o	Apresentação do produto educacional, mostrando seu funcionamento.	10 min	Familiarizar, através das práticas, o aluno com o método do ensino por investigação e com o funcionamento do experimento. Ampliar a capacidade investigativa dos alunos e desenvolver os conceitos envolvendo oscilações e ressonância.
	Apresentação das situações problemas sobre oscilações e ressonância.	10 min	
	Prática experimental: oscilações e ressonância.	50 min	
	Debates e <i>brainstorms</i> a fim de produzir hipóteses que solucionem as situações problemas.	30 min	
3 ^o	Reapresentação do produto educacional, destacando o ADS	5 min	Desenvolver o pensamento crítico e social dos alunos, aprimorar os conceitos de oscilações e desenvolver os conceitos envolvendo trabalho e energia. Resumir os conhecimentos adquiridos. Concretizar a aprendizagem através da idealização de outras formas de amortecimento. Adquirir dados de forma a comprovar a eficácia da sequência didática.
	Apresentação da situação problema, envolvendo os temas de trabalho e energia.	10 min	
	Prática experimental: Trabalho e energia.	40 min	
	Debates e <i>brainstorms</i> a fim de produzir hipóteses que solucionem as situações problemas.	30 min	
	Outras soluções de amortecimento.	5 min	
	Aplicação do pós-teste.	20 min	

Tabela contendo o cronograma de atividades da sequência didática, a diferença de tempo entre o pré e o pós-teste se dar pela presença de vídeos no pré-teste e ausência no pós.

Fonte: O Autor (2022).

6.3 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL

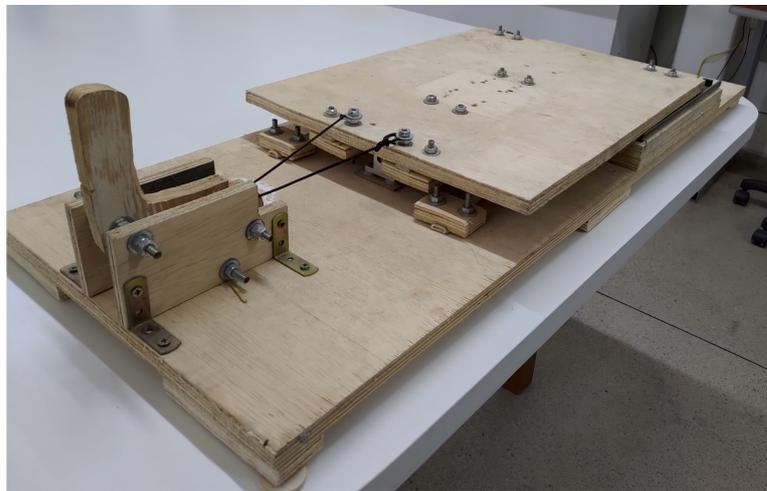
O equipamento do produto educacional consiste em um simulador composto de uma base que possibilita provocar vibrações, de uma estrutura de um prédio, e de um Atenuador Dinâmico Sintonizado. Esse equipamento possibilita provocar vibrações na estrutura, de forma a

encontrar as vibrações que geram maior impacto nas construções, e reduzi-las com o acréscimo do ADS, permitindo assim compreender os fenômenos físicos envolvidos.

6.3.1 Mesa de Agitação Sísmica

A mesa de agitação sísmica do nosso produto educacional (Figura 4), é uma mesa de movimento unidimensional que foi confeccionada de forma similar ao modelo de Rogers, seu deslocamento é feito sobre trilhos através de rolamentos lineares. Em sua primeira versão (Figura 3), a oscilação era produzida por garrotes elásticos, onde não era possível manter uma força externa periódica. Posteriormente, o sistema de elásticos foi substituído por um motor elétrico, possibilitando manter uma frequência de oscilação constante.

Fotografia 3 – Mesa de agitação sísmica.

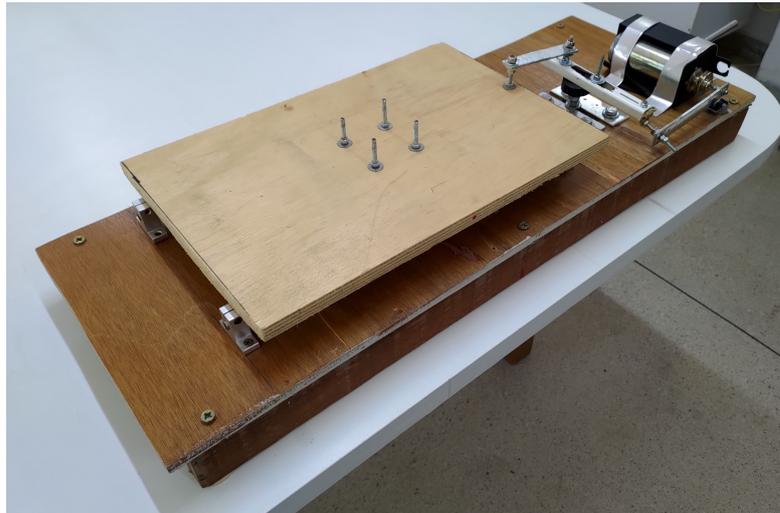


Primeira versão da mesa de agitação sísmica, com movimento produzido pela força elástica oriunda dos garrotes.

Fonte: O Autor (2022).

O motor utilizado (Figura 5), foi um motor de corrente contínua com tensão operacional de 2 V a 12 V, com uma caixa de redução de frequência de 5:1, torque de 0,2 N/m e frequência máxima sem carga de 900 rpm. A transmissão do movimento do motor a mesa sobre o trilho é feito por um braço de alavanca em um eixo móvel, que permite regular a amplitude do movimento.

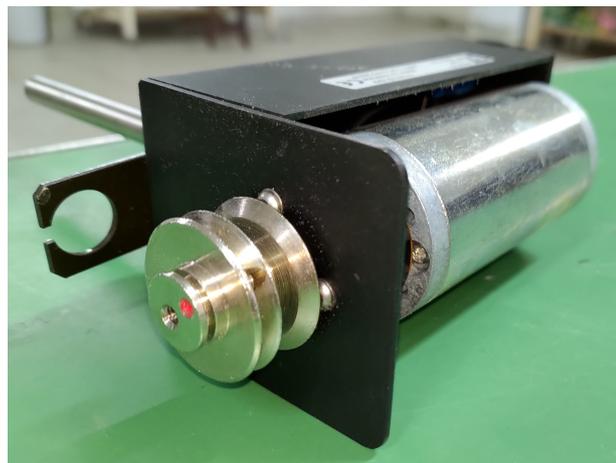
Fotografia 4 – Mesa de agitação sísmica.



Versão definitiva da mesa de agitação sísmica, sobre trilhos movida por um motor elétrico.

Fonte: O Autor (2022).

Fotografia 5 – Motor de corrente contínua.



Motor com caixa de redução de frequência de 5:1.

Fonte: O Autor (2022).

6.3.2 Estrutura da Edificação

O modelo da edificação, em sua primeira versão tinha base quadrada de 50 cm de lado e utilizava barras rosçadas de 8 mm de diâmetro, a estrutura possuía uma altura de 1 metro, com estrutura de treliça, estrutura baseada em triângulos, o dividindo em 2 andares. Esse primeiro modelo permitiu testar alguns sistemas de amortecimento, como pêndulos e amortecedores utilizando um sistema massa-mola.

Com a finalidade de produzir uma estrutura mais esguia, a versão segunda versão (Figura 6) possuía uma base quadrada de 13 cm de lado feita em MDF com 2 cm de espessura. Possuindo

a mesma altura da versão anterior, porém com 8 peças de madeira, iguais à da base, para dividir a estrutura por andares. Essa configuração possuía uma rigidez acima da desejada, debilitando a sua finalidade didática, onde a amplitude da oscilação era pequena, dificultando a visualização e posterior medição do fenômeno de ressonância. Ela possuía ainda algumas torções provenientes das imprecisões na confecção das peças dos andares.

Fotografia 6 – Segunda versão da estrutura.



Estrutura com base quadrada de 13 cm de lado em MDF, possuindo 7 andares, no ultimo andar se encontra um ADS do tipo massa mola.

Fonte: O Autor (2022).

A versão final do modelo (Figura 7) utiliza barras roscadas de 5 mm de diâmetro, e peças em MDF (Figura 8), de 6 mm de espessura, vazadas e cortadas a LASER, com formato quadrado de lado de 13 cm, para os andares, parafusadas a barra. Esse modelo permite melhor visualização dos fenômenos, onde o alinhamento das barras roscadas evitam as torções, tornando a oscilação unidimensional.

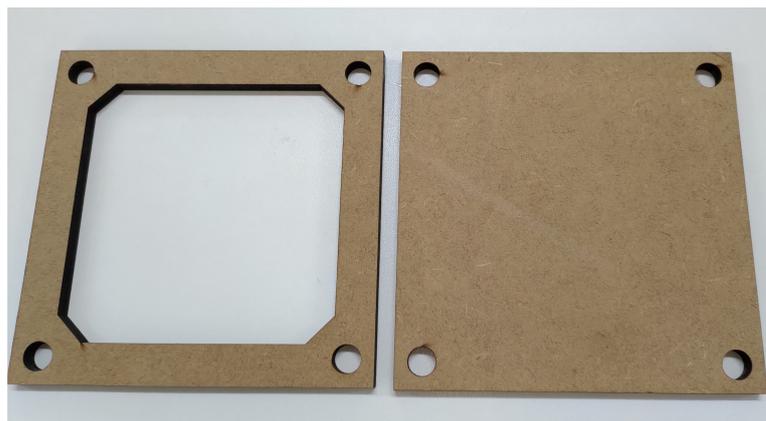
Fotografia 7 – Estrutura da edificação.



Versão final da edificação, composta de andares quadrados feitos em MDF de 6 mm e 13 cm de lado de espessura cortadas a LASER.

Fonte: O Autor (2022).

Fotografia 8 – Peças de MDF.



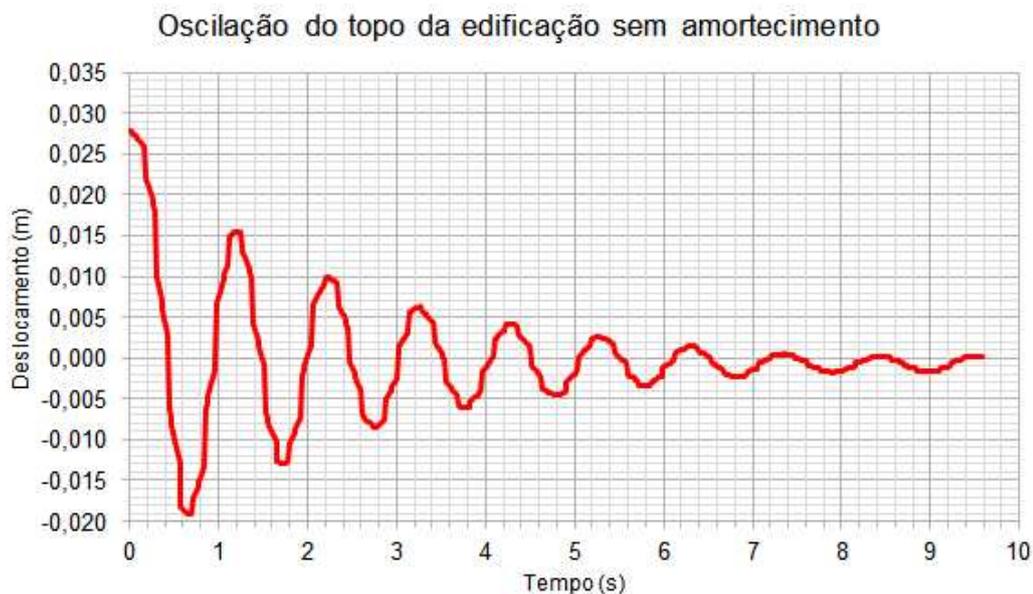
Peça do andar (esquerda) e do topo (direita).

Fonte: O Autor (2022).

Depois das peças confeccionadas, a montagem da estrutura do prédio pode ser feita junto com os alunos, onde podem ser discutidos temas como rigidez da estrutura e das formas geométricas. Na figura 3 podemos ver o gráfico do comportamento da estrutura, quando descolado da sua posição de equilíbrio e, comparando com as curvas características das oscilações

amortecidas(Figura 2), nota-se que a estrutura se comporta como um oscilador amortecido com amortecimento subcrítico.

Gráfico 3 – Oscilação do topo da edificação.



A edificação apresenta o comportamento de uma oscilação amortecida, com amortecimento subcrítico.

Fonte: O Autor (2022).

6.3.3 Atenuador Dinâmico Sintonizado

O ADS é um sistema de controle de vibrações passivo que tem como estrutura dois sistemas trabalhados no Ensino Médio, o pêndulo e o sistema massa-mola, dentro do produto educacional o interesse de trabalhar com essas tecnologias e tornar palpável para o aluno os assuntos vistos em sala de aula.

Alguns sistemas de amortecimento passivos foram testados, dentre eles um pêndulo bidimensional com massa ajustável, que consistia basicamente de massas presas em uma plataforma suspensa por quatro fios. No primeiro modelo da estrutura ele teve um bom funcionamento, mas no redimensionamento da estrutura, para o segundo modelo do prédio, a ideia foi substituída devido ao volume que ocupava.

O primeiro modelo redimensionado para a nova estrutura foi um sistema massa-mola tridimensional (Figura 6), esse modelo consistia em uma esfera plástica contendo pesos de chumbo dentro, essa esfera estava ligada à estrutura por um conjunto de oito elásticos que eram afixados aos vértices do andar. Esse modelo teve um bom desempenho, mas o seu ajuste para as práticas de ensino não eram viáveis.

Por último, o modelo (Figura 9) utilizado foi um sistema massa-mola unidimensional, ele consiste de um suporte que desliza por rolamentos lineares em trilhos, o suporte carrega pesos afixados em uma barra roscada abaixo dele, e em um recipiente acima, podendo facilmente

ajustar a massa. A força elástica é devido a elásticos presos ao suporte e à estrutura do prédio, que são facilmente substituíveis, inclusive permitindo o uso de molas.

Fotografia 9 – Atenuador Dinâmico Sintonizado.



No copo presente no atenuador são colocados pesos de chumbo que possibilitam variar a massa.

Fonte: O Autor (2022).

Na figura 4 podemos notar a atenuação na oscilação provocada pelo ADS na estrutura em ressonância. Observa-se uma amplitude de oscilação da estrutura sem ADS (Vermelho) aproximadamente quatro vezes maior do que a mesma com ADS (Azul), tendo uma diferença de amplitudes que torna fácil a observação durante a prática educacional.

Gráfico 4 – Oscilação da edificação com e sem ADS.

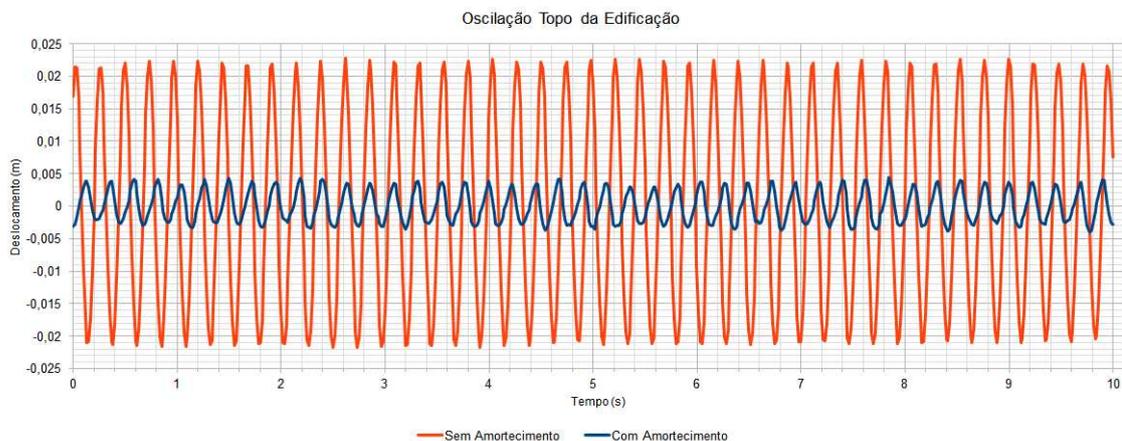


Gráfico de comparação da oscilação da estrutura em ressonância, com e sem ADS.

Fonte: O Autor (2022).

7 ANÁLISE DE DADOS

Este capítulo trata de apresentar o processo de implementação do experimento de simulação de sismos e da sequência didática, descrevendo os resultados alcançados, comparando os resultados obtidos com o pré-teste e o pós-teste, descrevendo também as percepções obtidas durante a aplicação.

7.1 DA APLICAÇÃO

7.1.1 A Escola

Este trabalho foi desenvolvido na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Cônego Antônio Galdino, da rede estadual de ensino do estado da Paraíba, na cidade de Puxinanã - PB. A escola foi fundada em março de 1958, nesta época Puxinanã era distrito de Pocinhos. Entre os anos de 1958 e 2009 a escola desenvolveu sua função, porém as condições para funcionamento no prédio começaram a ficar precárias devido a deterioração desse espaço físico, colocando em risco aqueles que a frequentavam. No ano de 2010 a escola foi interditada e as atividades escolares passaram a acontecer em um prédio alugado, em caráter de urgência, pela Secretaria Estadual da Educação.

Em análise de técnicos e engenheiros do Governo do Estado, a estrutura original da escola foi condenada, visto que uma reforma não solucionaria o problema, sendo assim foi recomendada uma reconstrução do ambiente. A nova estrutura (Figura 10) só veio a ser concluída no ano de 2016, sendo reinaugurada em março do mesmo ano. Em todo esse intervalo as atividades da escola aconteceram em diversos locais.

Até o ano 2018 a escola atendia apenas os segmentos do Ensino Fundamental e em 2019 através de decreto de 11 de dezembro de 2018, do Governador do Estado da Paraíba Ricardo Coutinho, a escola passou a atender nas modalidades Fundamental II, Médio e Educação de Jovens e Adultos. A escola hoje atende uma demanda estudantil de mais de oitocentos alunos, cuja faixa etária compreende crianças de dez anos de idade a adolescente com mais 18 anos, assim como adultos na modalidade EJA.

A EEEFM Cônego Antônio Galdino é uma escola de horário regular, funcionando os três turnos, onde no matutino e vespertino funcionam as modalidades de Fundamental II e Médio e no noturno a modalidade EJA.

7.1.2 Espaço Amostral

Devido à nova estrutura que permite alocar uma maior quantidade de pessoas, hoje a escola atende alunos do município de Puxinanã e cidades próximas. O principal público desta

Fotografia 10 – EEEFM Cônego Antônio Galdino



Nova estrutura da Escola Cônego Antônio Galdino

Fonte: EEEFM Cônego Antônio Galdino (2018).

escola são os residentes da área urbana, porém existe uma parcela considerável de estudantes da zona rural. A escola possui uma proposta pedagógica de maior protagonismo por parte dos alunos, que torna o ambiente escolar propício a integração entre todas as pessoas que ali convivem.

Os alunos que participaram da aplicação da sequência didática são alunos de 1^a Série do EM, do ensino regular, e alunos do EJA dos Ciclos V (1^a e 2^a Série do EM) e VI (3^a Série do EM). Nem todos os alunos destas turmas puderam participar, estando presentes apenas aqueles que possuíam acesso a internet. Os demais alunos estavam participando das aulas apenas através de atividades impressas, portanto esses últimos ficaram impossibilitados de participar dessas atividades.

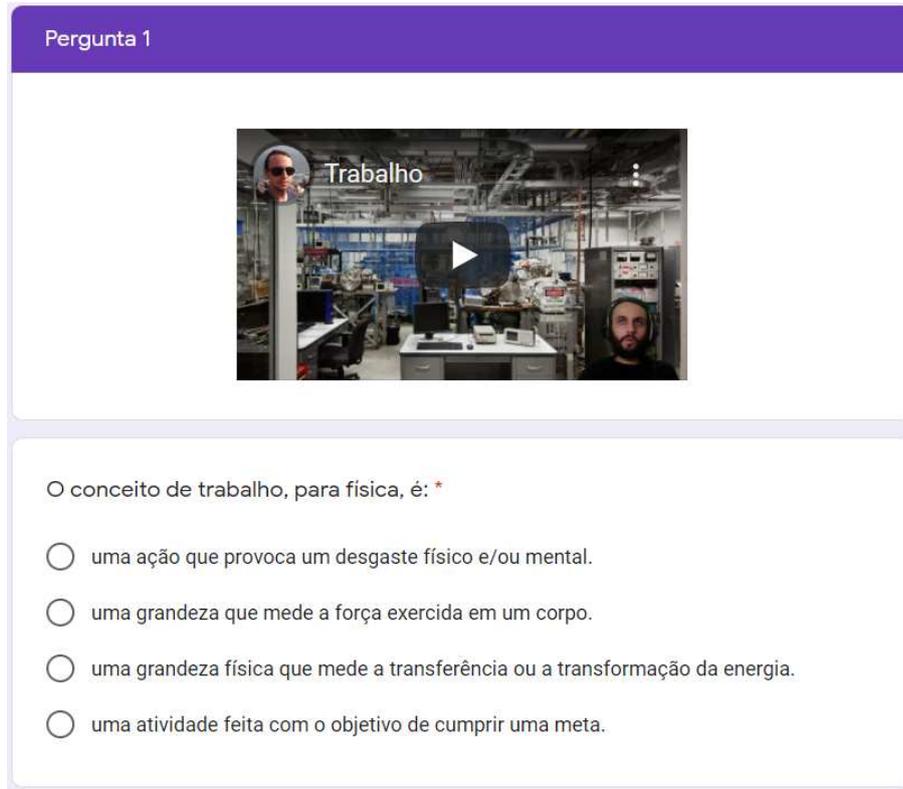
7.2 O PRÉ-TESTE

O pré-teste foi desenvolvido de forma a obter dados sobre os conhecimentos já estudados e compreendidos pelos alunos, gerando parâmetros para que se possa descrever sua evolução. Identificando os conceitos mais bem estabelecidos e as dificuldades apresentadas pelos alunos, através de vídeos, onde as situações unidas aos problemas eram apresentadas. O formulário Google, onde o pré-teste foi aplicado, também possui alguns vídeos curtos, que são apresentados após as questões, fazendo breves discussões sobre os problemas apresentados.

7.2.1 Dos Conceitos

Os itens 1, 2, 3, 7 e 8 deste pré-teste, são apresentados com seus gráficos nas figuras 3 à 9, onde os dois primeiros tratam dos conceitos de forma direta, sem contextualização, e os outros três problemas estão relacionados à situação apresentada nos vídeos. As figuras supracitadas apresentam os problemas e desempenho dos alunos.

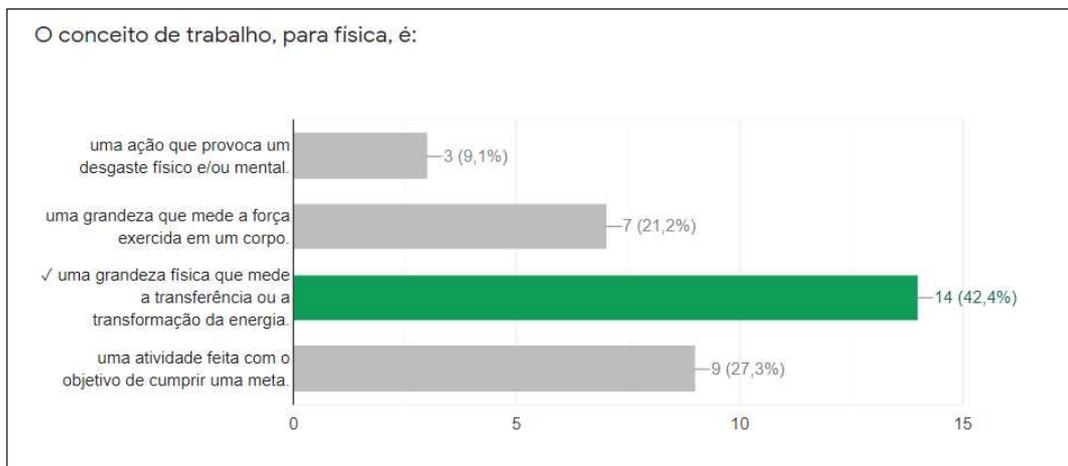
Figura 3 – 1ª Pergunta do pré-teste.



Pergunta referente ao conceito de Trabalho.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 5 – Gráfico referente a 1ª Pergunta do pré-teste.



Nota-se grande relação com os significados do cotidiano para o conceito de trabalho.

Fonte: O Autor (2022).

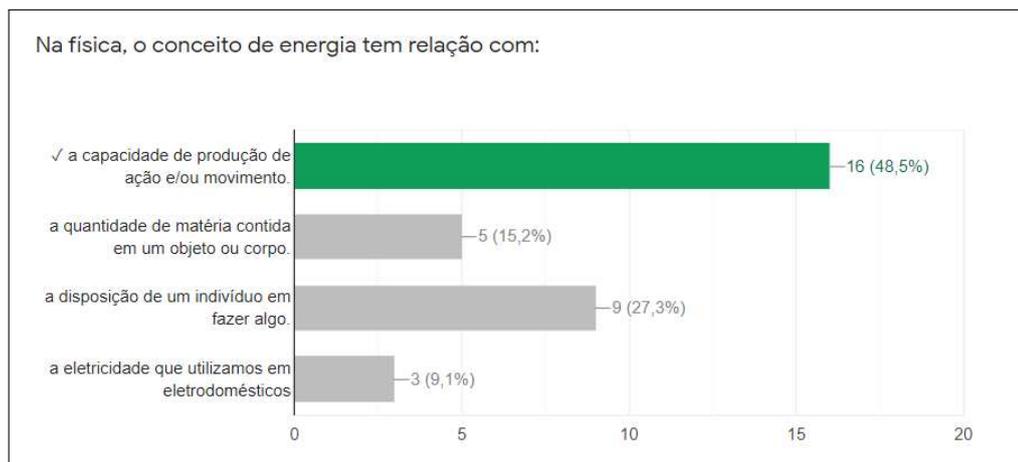
Figura 4 – 2ª Pergunta do pré-teste.



Pergunta referente ao conceito de Energia.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 6 – Gráfico referente a 2ª Pergunta do pré-teste.



Nota-se grande relação com os significados do cotidiano para o conceito de energia.

Fonte: O Autor (2022).

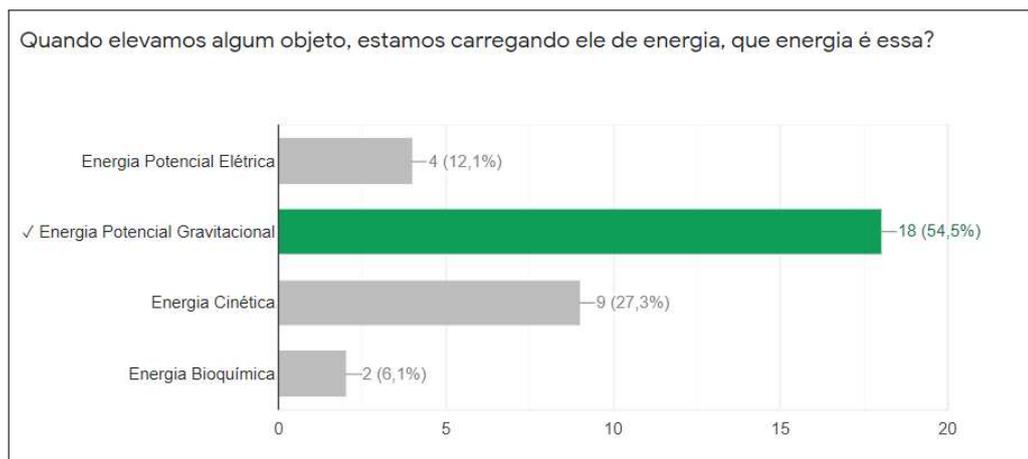
Figura 5 – 3ª Pergunta do pré-teste.



Pergunta referente aos tipos de Energia.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 7 – Gráfico referente a 3ª Pergunta do pré-teste.



Nota-se que a palavra gravitacional carrega significado científico para boa parte dos alunos.

Fonte: O Autor (2022).

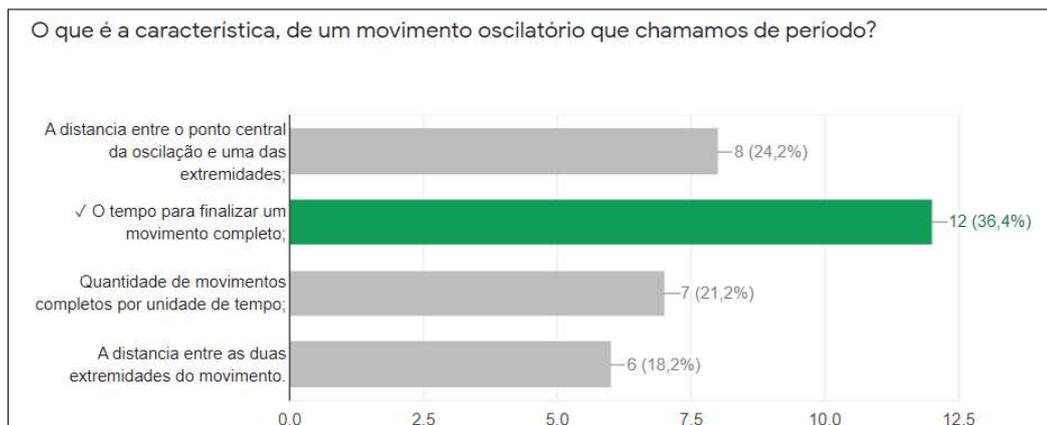
Figura 6 – 7ª Pergunta do pré-teste.



Pergunta referente aos conceitos relacionados à oscilação.

Fonte: O Autor (2022).

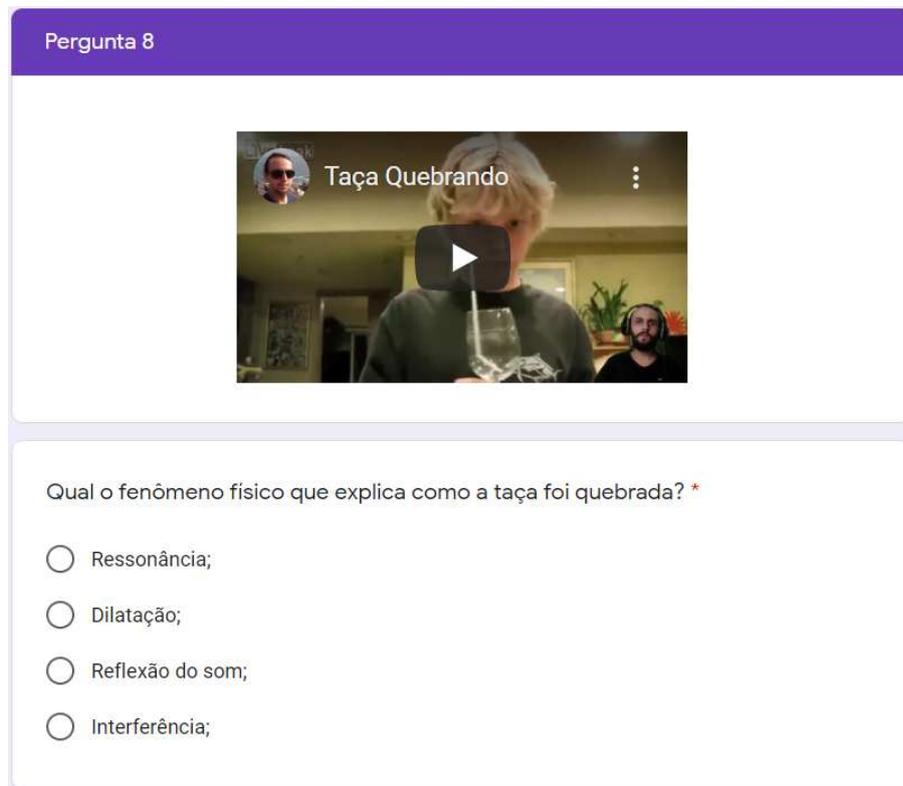
Gráfico 8 – Gráfico referente a 7ª Pergunta do pré-teste.



Nota-se baixa significância nos referentes a oscilação por parte dos alunos.

Fonte: O Autor (2022).

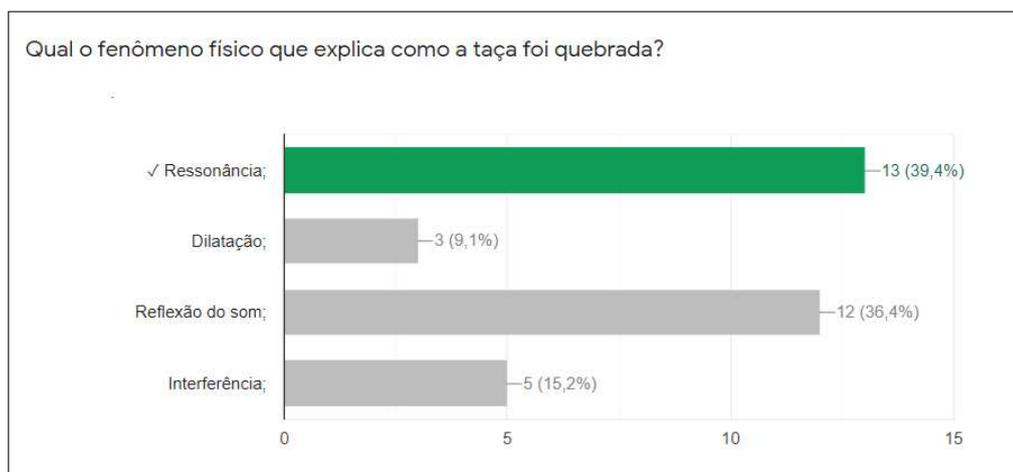
Figura 7 – 8ª Pergunta do pré-teste.



Pergunta referente ao conceito de ressonância.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 9 – Gráfico referente a 8ª Pergunta do pré-teste.



É perceptível a associação da situação-problema com o som.

Fonte: O Autor (2022).

Nas Figuras 5 e 6 referentes às perguntas 1 e 2, vemos que menos da metade dos estudantes acertaram a questão e dos que erraram, a maioria associava o termo com o significado do cotidiano. Os conceitos de trabalho e energia na física, são temas abstratos e para os alunos

desvincularem os conceitos do cotidiano se torna algo mais distante. Mesmo sendo conceitos que já foram vistos por eles nos anos finais do ensino fundamental, notamos que não é tão simples para os alunos assimilarem. Na Figura 7, relacionada à 3^a pergunta, mesmo se tratando de uma energia, notamos uma maior associação, atribuímos isso ao termo gravitacional, visto que a gravidade já é um conceito mais bem estabelecido, que foi trabalhado tanto nos anos finais quanto nos primeiros momentos do Ensino Médio.

Na Figura 8, vemos que no item 7 os conceitos que permeiam o tema dos movimentos oscilatórios se misturam para os alunos, a isso atribuímos o fato de que seus significados ainda não tinham sido trabalhados por eles no ambiente escolar, em nenhum segmento de ensino, como exceção dos cinco alunos pertencentes ao Ciclo VI do EJA. Por outro lado, na problemática da 8^a pergunta, dados retratados na Figura 9, quando é apresentado um garoto quebrando uma taça com a voz e perguntamos que fenômeno explica isto, vemos que existe um entendimento de que as ondas sonoras quebram a taça, mas qual o fenômeno é o causador, não é algo claro para eles.

7.2.2 Da Relação de Grandezas

As perguntas de número 4 a 6, expostas nas figuras 8, 9 e 10, buscam verificar o entendimento das relações entre as grandezas por parte do aluno, buscando identificar ideias de proporcionalidade. Essas perguntas buscam determinar as conexões feitas pelos alunos sem adentrar a um formalismo matemático.

Na 4^a pergunta, diante da situação-problema apresentada no vídeo, podemos notar a partir da figura 10 que os alunos relacionaram os conceitos referentes ao movimento, inclusive relacionando a velocidade com a energia cinética, porém a relação com a massa não foi observada pela metade dos alunos.

No item 5, o conceito da energia potencial elástica está associado à posição do objeto. Nessa pergunta o aluno precisa associar a posição com a deformação do elástico, sendo proporcional à relação entre as duas grandezas. Essa relação, pelas respostas obtidas e apresentadas na figura 11, não era algo claro para a maioria dos alunos. Nota-se que os itens mais assinalados foram os momentos após o pulo com maior e menor quantidade de energia, e a partir disso podemos notar que enquanto para uns era visto como uma relação diretamente proporcional, para outros era visto como inversamente proporcional.

Na 6^a pergunta, é trabalhado o conceito de energia mecânica, sua conservação e a relação entre as energias potencial gravitacional e cinética, associadas ao movimento do carrinho da montanha russa. Neste item (Figura 12), a resposta correta foi a mais votada, porém as outras duas respostas que tiveram uma porcentagem considerável de assinalações, nos mostra que a ideia de alternância entre elas, e da relação entre energia potencial gravitacional com a altura e da cinética com a velocidade ainda não estavam bem estabelecidas no cognitivo dos alunos.

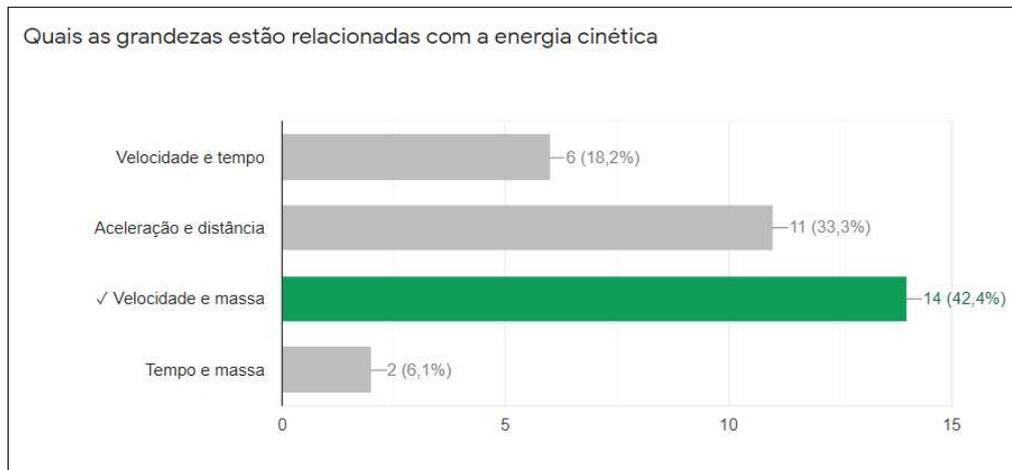
Figura 8 – 4ª Pergunta do pré-teste.



Pergunta referente as grandezas relacionadas a energia cinética.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 10 – Gráfico referente a 4ª Pergunta do pré-teste.



Nota-se a baixa associação, por parte dos alunos, da energia cinética com a massa.

Fonte: O Autor (2022).

Figura 9 – 5ª Pergunta do pré-teste.

Pergunta 5



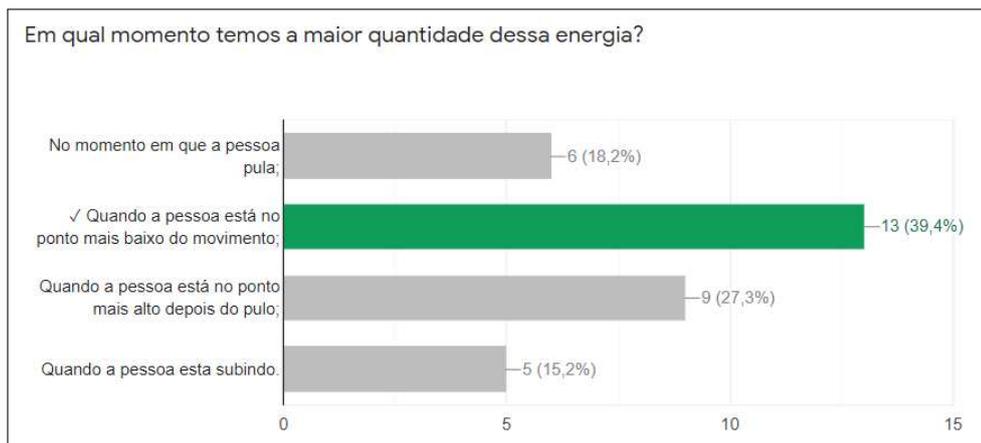
Em qual momento temos a maior quantidade dessa energia? *

- No momento em que a pessoa pula;
- Quando a pessoa está no ponto mais baixo do movimento;
- Quando a pessoa está no ponto mais alto depois do pulo;
- Quando a pessoa esta subindo.

Pergunta referente às grandezas relacionadas à Energia Potencial Gravitacional.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 11 – Gráfico referente a 5ª Pergunta do pré-teste.



Nota-se baixa percepção da relação entre deformação do objeto e energia potencial elástica.

Fonte: O Autor (2022).

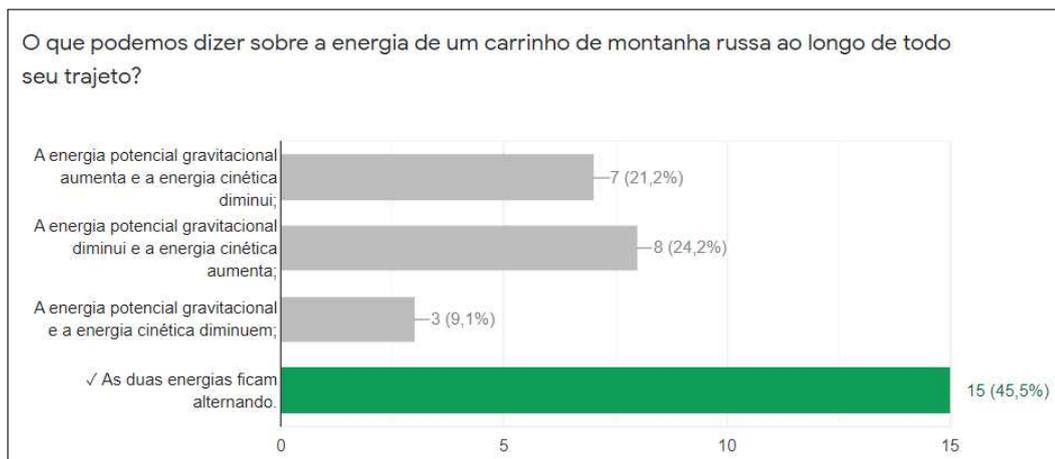
Figura 10 – 6ª Pergunta do pré-teste.



Pergunta referente às grandezas relacionadas às Energias e a conservação da Energia Mecânica.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 12 – Gráfico referente a 6ª Pergunta do pré-teste.



Verifica-se pouca relação, pelos alunos, das energias com a velocidade e altura.

Fonte: O Autor (2022).

7.3 O PÓS-TESTE

Em comparação com o pré-teste é esperado uma melhora nos resultados, referentes aos conceitos científicos trabalhados. Os alunos nesse ponto passaram pela aplicação da sequência didática e pela exploração do experimento. Esses momentos foram desenvolvidos com o intuito de promover um aprimoramento no pensamento crítico dos alunos, possibilitando a compreensão das situações do cotidiano, identificando os fenômenos físicos nelas presentes. Nesta sequência, não apenas o pensamento crítico, mas também os conceitos físicos relacionados a oscilações, energia mecânica e trabalho mecânico foram trabalhados.

7.3.1 Dos Conceitos

Com a aplicação da sequência didática e do experimento, tratando dos conceitos físicos aplicados em uma tecnologia existente, os itens 3 a 7, retratados junto a seus gráficos nas Figuras 11 à 17, buscam verificar a apropriação dos conceitos trabalhados por parte dos alunos.

Podemos notar através das perguntas 3 e 7 do pós-teste, dados presentes nas Figuras 13 e 14, que houve uma melhora significativa na apropriação dos conceitos de energia, na pergunta 7 em particular notamos, através das respostas dos alunos que a dissipação de energia pela estrutura do prédio, item II da referida questão, não foi claramente percebida, relacionamos isso com a ausência de uma força dissipativa claramente visível, como é o caso do atrito nos trilhos do amortecedor do item III.

Figura 11 – 3ª Pergunta do pós-teste.

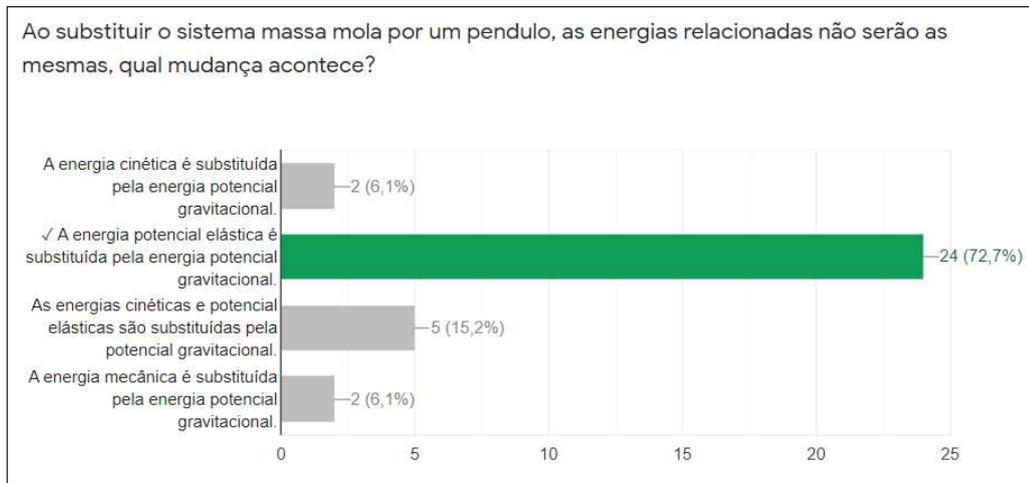
Ao substituir o sistema massa mola por um pêndulo, as energias relacionadas não serão as mesmas, qual mudança acontece?

- A energia cinética é substituída pela energia potencial gravitacional.
- A energia potencial elástica é substituída pela energia potencial gravitacional.
- As energias cinéticas e potencial elásticas são substituídas pela potencial gravitacional.
- A energia mecânica é substituída pela energia potencial gravitacional.

Pergunta referente aos tipos de Energia.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 13 – Gráfico referente a 3ª Pergunta do pós-teste.



Observa-se melhora no aprendizado referente aos tipos de Energia.

Fonte: O Autor (2022).

Figura 12 – 7ª Pergunta do pós-teste.

Sobre o fornecimento e/ou dissipação da energia no experimento podemos afirmar que: *

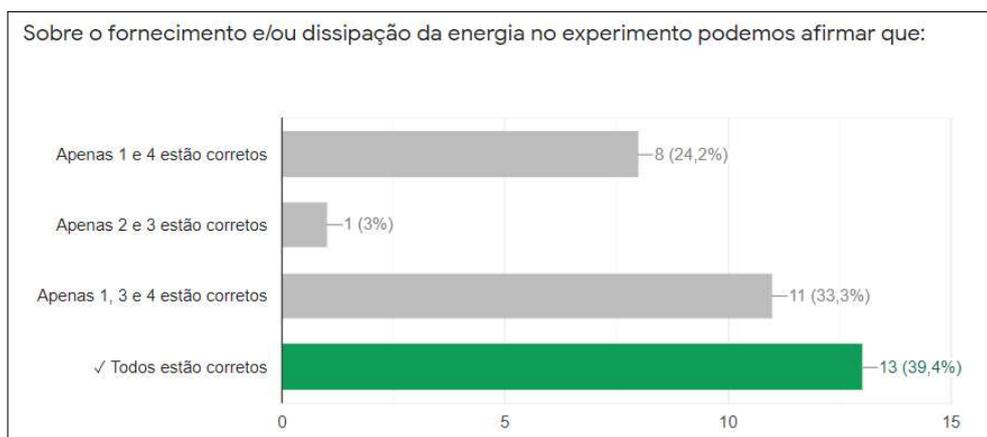
- I. O motor realiza trabalho.
- II. Existe dissipação de energia pela estrutura do prédio.
- III. O amortecedor dissipa energia.
- IV. É realizado trabalho sobre o amortecedor.

- Apenas 1 e 4 estão corretos
- Apenas 2 e 3 estão corretos
- Apenas 1, 3 e 4 estão corretos
- Todos estão corretos

Pergunta referente aos conceitos de Trabalho e de Energia.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 14 – Gráfico referente a 7ª Pergunta do pós-teste.



Percebe-se melhora no aprendizado referente aos conceitos de Trabalho e de Energia, porém apresenta déficit relacionado à dissipação.

Fonte: O Autor (2022).

Figura 13 – 4ª Pergunta do pós-teste.

Quando falamos da frequência de oscilação do prédio, estamos falando de: *

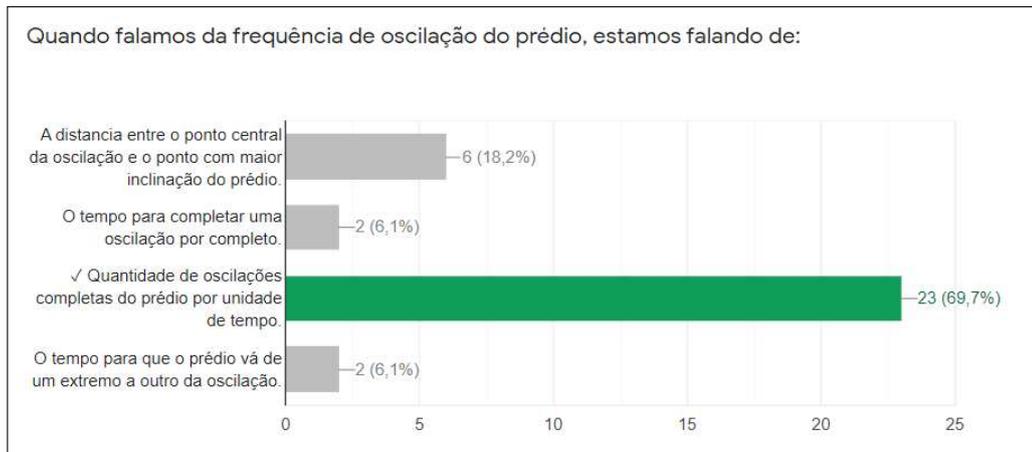
- A distancia entre o ponto central da oscilação e o ponto com maior inclinação do prédio.
- O tempo para completar uma oscilação por completo.
- Quantidade de oscilações completas do prédio por unidade de tempo.
- O tempo para que o prédio vá de um extremo a outro da oscilação.

Pergunta referente aos conceitos relacionados à oscilação.

Fonte: O Autor (2022).

Quanto aos conceitos envolvendo oscilações notamos, nas Figuras 15 e 17, que foi feita a diferenciação entre os conceitos de período e frequência por parte dos alunos. No item 5 podemos notar também a apropriação do conceito de ressonância e onde foi possível por parte dos alunos a identificação do fenômeno (Figura 16). Esses resultados já eram esperados, visto que o experimento tem como ponto chave a ressonância que por sua vez é um fenômeno que está estritamente relacionado com a frequência.

Gráfico 15 – Gráfico referente a 4ª Pergunta do pós-teste.



Percebe-se que a diferenciação entre os conceitos relacionados à oscilação foi feita pelos alunos.

Fonte: O Autor (2022).

Figura 14 – 5ª Pergunta do pós-teste.

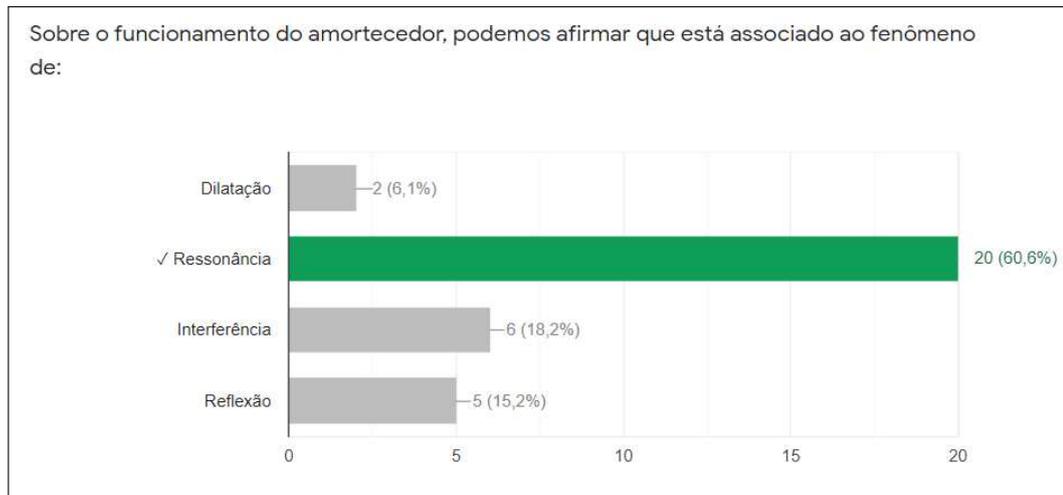
Sobre o funcionamento do amortecedor, podemos afirmar que está associado ao fenômeno de: *

- Dilatação
- Ressonância
- Interferência
- Reflexão

Pergunta referente ao conceito de ressonância.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 16 – Gráfico referente a 5ª Pergunta do pós-teste.



Nota-se maior assimilação do conceito de ressonância.

Fonte: O Autor (2022).

Figura 15 – 6ª Pergunta do pós-teste.

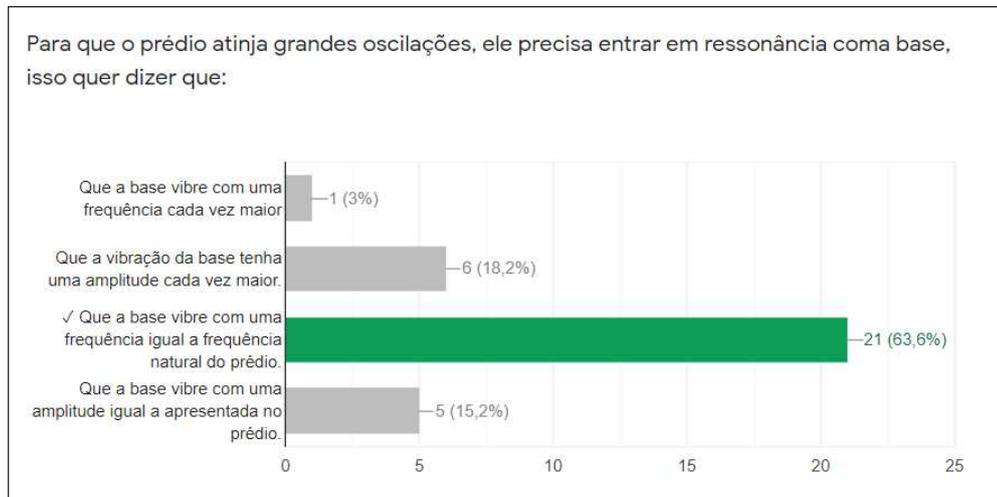
Para que o prédio atinja grandes oscilações, ele precisa entrar em ressonância coma base, isso quer dizer que:

- Que a base vibre com uma frequência cada vez maior
- Que a vibração da base tenha uma amplitude cada vez maior.
- Que a base vibre com uma frequência igual a frequência natural do prédio.
- Que a base vibre com uma amplitude igual a apresentada no prédio.

Fonte: O Autor (2022).

Pergunta referente ao conceito de ressonância.

Gráfico 17 – Gráfico referente a 6ª Pergunta do pós-teste.



Constata-se que os significados de frequência e ressonância foram assimilados, bem como a relação entre eles.

Fonte: O Autor (2022).

7.3.2 Relacionando Grandezas

Quando relacionamos grandezas, não apenas nos apropriamos dos conceitos envolvidos com elas, mas também ancoramos esses significados em outros conceitos. Através dos itens 1,2 e 8, presentes nas figuras 16, 17 e 18, podemos notar algumas assimilações feitas pelos alunos.

Figura 16 – 1ª Pergunta do pós-teste.

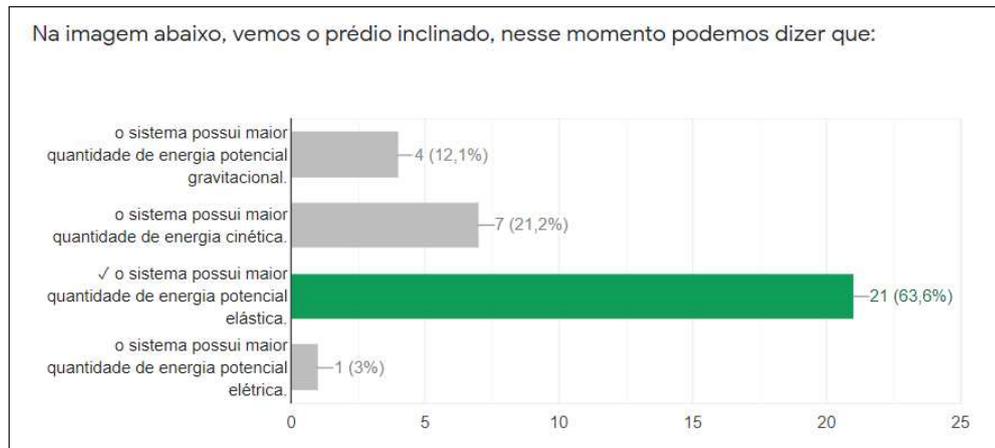
Na imagem abaixo, vemos o prédio inclinado, nesse momento podemos dizer que:

- o sistema possui maior quantidade de energia potencial gravitacional.
- o sistema possui maior quantidade de energia cinética.
- o sistema possui maior quantidade de energia potencial elástica.
- o sistema possui maior quantidade de energia potencial elétrica.

Pergunta referente as grandezas relacionadas as Energias potencial elástica.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 18 – Gráfico referente a 1ª Pergunta do pós-teste.

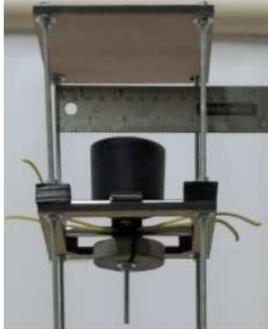


Apresenta melhor entendimento da relação entre deformação e energia potencial elástica.

Fonte: O Autor (2022).

Figura 17 – 2ª Pergunta do pós-teste.

Durante a oscilação do prédio, quando o amortecedor está na posição central, como na imagem abaixo, podemos dizer que:

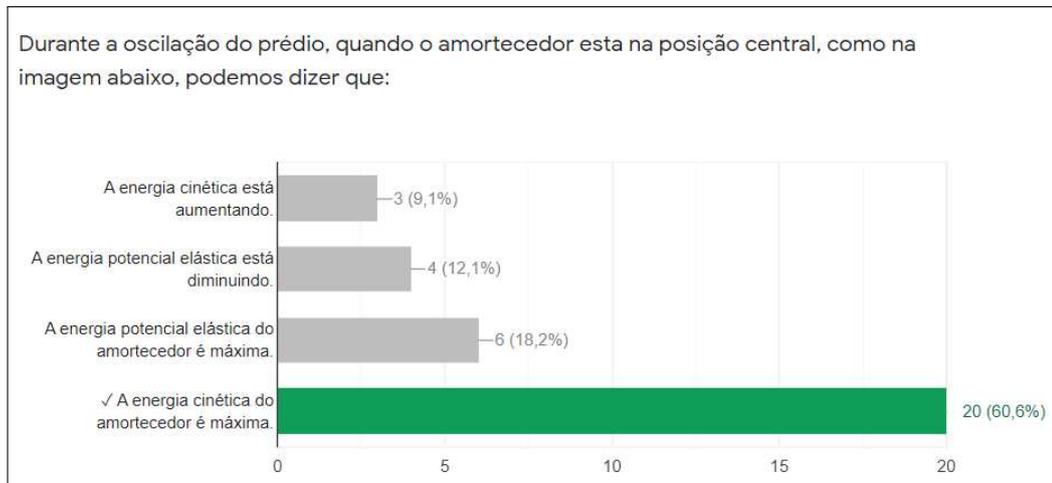


A energia cinética está aumentando.
 A energia potencial elástica está diminuindo.
 A energia potencial elástica do amortecedor é máxima.
 A energia cinética do amortecedor é máxima.

Pergunta referente as grandezas relacionadas à Energia Cinética.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 19 – Gráfico referente a 2ª Pergunta do pós-teste.



Apresenta compreensão significativa da relação entre velocidade, posição e energia cinética em um oscilador.

Fonte: O Autor (2022).

Figura 18 – 8ª Pergunta do pós-teste.

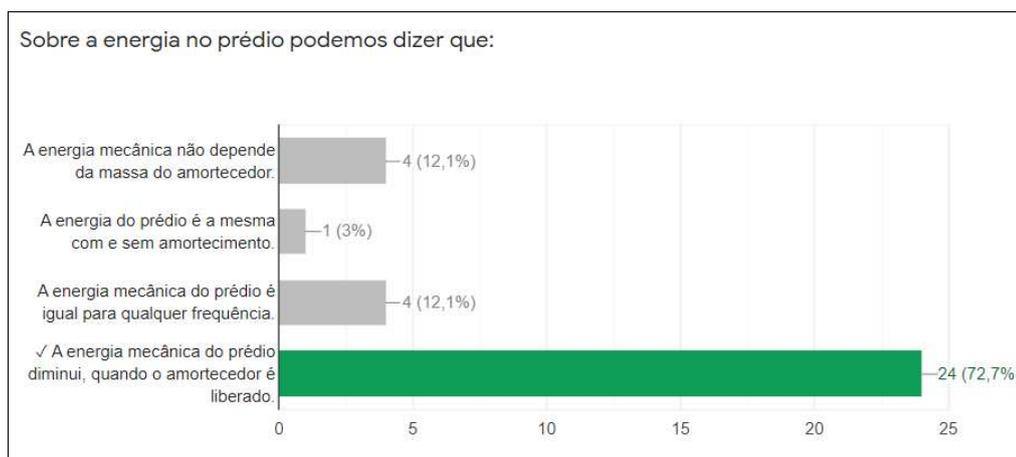
Sobre a energia no prédio podemos dizer que: *

- A energia mecânica não depende da massa do amortecedor.
- A energia do prédio é a mesma com e sem amortecimento.
- A energia mecânica do prédio é igual para qualquer frequência.
- A energia mecânica do prédio diminui, quando o amortecedor é liberado.

Pergunta referente as grandezas relacionadas às Energias e a conservação da Energia Mecânica.

Fonte: O Autor (2022).

Gráfico 20 – Gráfico referente a 8ª Pergunta do pós-teste.



Apresenta melhor compreensão e associação da relação de quantidade de energia existente e as demais grandezas.

Fonte: O Autor (2022).

No primeiro item do pós-teste (Figura 18) em comparação com o 5º item do pré-teste, vemos que o aluno entende melhor a relação entre a deformação do objeto com a quantidade de energia potencial elástica armazenada, visto o aumento significativo no percentual de acerto.

Ao tratar da energia no amortecedor, Figura 19, o aluno foi posto a identificar a quantidade de energia cinética e potencial elástica através da posição do amortecedor. Notamos aqui que não apenas as relações envolvendo a energia potencial elástica foram compreendidas, como também da energia cinética, onde os alunos perceberam a relação da posição, com a quantidade de energia, através do conceito da velocidade que não aparece de forma explícita na questão.

Na 8ª pergunta os alunos observaram o comportamento da energia diante o evoluir de uma situação (Figura 20), em comparação com o item 6 do pré-teste, vemos que os alunos conseguem melhor compreender e associar a quantidade de energia existente, através das relações com as outras grandezas presentes nas situações-problemas.

É interessante ressaltar que os resultados de evolução cognitiva por parte dos alunos foram obtidos apenas através da sequência didática utilizando o experimento, onde os mesmos não passaram por uma exposição do conteúdo.

8 CONCLUSÃO

De acordo com a teoria da aprendizagem significativa, para que novos conhecimentos sejam aprendidos, deve haver uma conexão com aqueles já existentes no cognitivo do aluno. Durante a aplicação do pré-teste, concluímos que muitos dos símbolos já possuem significados para os alunos e nem sempre esses significados estavam relacionados aos conceitos científicos, mas com significados do cotidiano.

Durante a execução da sequência didática, com a autonomia dada ao aluno, foi possível atingir uma das condições para a aprendizagem significativa, a predisposição do aluno para aprender. Ao colocá-los como protagonistas foi possível observar que o interesse dos alunos em participar da sequência didática foi maior do que comumente é observado no dia a dia da sala de aula. Tornar a aprendizagem interessante para o aluno é de grande importância, pois não torna o aluno apenas aberto para aprender, mas o faz buscar o aprendido.

Um outro fator importante para gerar predisposição a aprendizagem foi a temática sobre sismos, presente na sequência didática e no experimento, visto que sismos de baixa magnitude são presenciados no Brasil com certa regularidade. A temática ao ser citada já gerou questionamentos por parte dos alunos, visto que a região já tinha sofrido alguns terremotos. Notando que esses pequenos sismos não são uma característica local, mas acontecem espalhados ao longo do país, a temática se enquadra como um estímulo à aprendizagem para diversos perfis de alunos, em diversas regiões do país.

Com os resultados obtidos no pós-teste, observa-se que o experimento, unido à sequência didática alcançam a segunda condição, a potencialidade significativa dos materiais educativos, uma vez que os resultados alcançados foram obtidos exclusivamente pela aplicação deles. É importante destacar que a sequência didática teve sua aplicação de forma remota síncrona, desta forma, é esperado que os resultados obtidos em uma aplicação presencial sejam melhores do que os aqui apresentados, visto que toda a sequência didática e experimento foram produzidos para esse tipo de aplicação.

A prática investigativa, juntamente com as discussões promovidas durante a sequência didática, promoveram uma evolução dos conhecimentos no cognitivo dos alunos, como previsto na teoria de Vygotsky onde as relações sociais foram convertidas em funções mentais a partir da mediação. Foi possível observar que as interações aluno-aluno, promoveram um crescimento cognitivo, a partir do momento que as zonas de desenvolvimento proximal dos alunos tiveram suas diferenças reduzidas através do compartilhamento de informações.

Após o processo de análise dos dados obtidos através dos testes, das percepções durante a aplicação dos produtos educacionais, e dos depoimentos dados durante as aulas pelos alunos, observamos que os resultados esperados foram alcançados. Os alunos desenvolveram os conhe-

cimentos científicos trabalhados e desenvolveram autonomia para futuras atividades. Devido a indisponibilidade de aplicação em um grupo maior de alunos, não foi possível obter um resultado quantitativo, de forma que os resultados aqui apresentados tem apenas caráter qualitativo.

A reprodução deste experimento se faz viável devido ao baixo custo dos materiais utilizados, porém, não prejudicando a qualidade do experimento. Após uma pré-montagem, onde é utilizado maquinários para fazer os cortes e furos, o equipamento pode ser montado pelos alunos em equipe.

Sendo assim, podemos concluir que os produtos educacionais, alinhados através de ações que promovam a autonomia e a sociabilização do conhecimento, promovem alunos críticos, capazes de discernir sobre os conteúdos, e quando se fizer necessário, questionar. Promove também alunos socialmente integrados, motivados a compartilhar ideias, questionamentos, discernimentos, promovendo assim um desenvolvimento coletivo.

9 PERSPECTIVAS FUTURAS

Durante a aplicação desse produto educacional, foi inviável a aplicação de forma presencial, desta forma será feita posteriormente uma nova aplicação desse modo. Devido ainda a essa circunstancia o número de alunos que participaram da aplicação foi reduzido, tornando inviável uma análise quantitativa, analise essa que será feita posteriormente.

Pelos mesmos motivos, algumas características do experimento foram abandonadas durante o processo por não se adequarem ao modelo remoto, é de interesse que essas sejam retomadas e acrescidas a sequência didática quando for viável suas aplicações. Dentre elas podemos citar os experimentos para medição das constantes elásticas da estrutura e do amortecedor, que só são possíveis em laboratório, utilizando equipamentos para medição. Outras aplicações possíveis estão descritas no último capítulo do Apêndice A.

O experimento também foi pensado para aplicação no ensino superior, de forma a estudar grandezas e conceitos como rigidez, frequências naturais, oscilações forçadas e amortecidas. O experimento permite diversas explorações com bases nesses temas, mas devido ao rigor matemático por trás deles a aplicação no ensino médio não é possível. Dessa forma, é de interesse a adaptação da sequência didática para que a mesma possa ser aplicada no ensino superior.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D.P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva** Tradução: Lígia Teopisto 1ª ed. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.
- BRAGA, M. B. P.; KALHIL, J. B. .As implicações das Teorias de Ausubel e Vygotsky nas atividades de demonstrações experimentais investigativas. **Latin American Journal of Science Education**, v. 2, p. 12034, 2015.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.
- CARVALHO, A.M.P. de. As práticas experimentais no ensino de Física. In: CARVALHO, A. M. P. *et al* (org.). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, p. 53-77, 2010.
- CARVALHO, A. M. P. *et al* (org.). **Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: CENGAGE Learning, 2019. 152 p.
- CORREIA, Paulo de Barros. Origem dos terremotos no Nordeste. **ComCiência**, n. 117, p. 0-0, 2010.
- CREPALDE, R. S.; AGUIAR JÚNIOR, O. G. . Aguiar. A formação de conceitos como ascensão do abstrato ao concreto: da energia pensada à energia vivida. **Investigações em ensino de Ciências**, v. 18, n. 2, p. 299-325, 2016.
- DOWRICK, D. J. The Modified Mercalli earthquake intensity scale: Revisions arising from recent studies of New Zealand earthquakes . **Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 92–106, 1996. DOI: 10.5459/bnzsee.29.2.92-106. Disponível em: <https://bulletin.nzsee.org.nz/index.php/bnzsee/article/view/603>. Acesso em: 16 ago. 2021.
- Earthquakes Today Richter Scale Table. **Earthquakes Today**, 2021. Disponível em: <https://earthquakestoday.info/>. Acesso em: 25 de ago. de 2021.
- MCNUTT, Stephen R.; ROMAN, Diana C. Volcanic seismicity. In: SIGURDSSON, Haraldur *et al*. (Ed.). **The encyclopedia of volcanoes**. Elsevier, 2015.cap. 59, p. 1011-1034.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica Universitária, 1999.
- MOREIRA, Marco Antonio. ¿ Al afinal, qué es aprendizaje significativo?. **Curriculum: revista de teoría, investigación y práctica educativa**. La Laguna, Espanha. No. 25 (marzo 2012), p. 29-56, 2012.
- NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor**. Editora Blucher, 2018.
- PAREDES, M. M. **Utilização de amortecedores de massas sintonizadas no controlo de**

- vibrações em estruturas**. 2008. 104p. Dissertação. (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.
- PEREIRA, R.A.; FERREIRA, W. G.; BEZERRA, A. D. S. **Abalos Sísmicos no Brasil e No Mundo**. Vitoria: CREA-ES, 2008. Disponível em: http://www.creaes.org.br/creaes/portals/0/downloads/abalos_sismicos_no_brasil_e_no_mundo.pdf. Acesso em: 08 junho 2011.
- RSBR. RSBR - Rede Sismográfica Brasileira, 2021. Boletim Sísmico Brasileiro. Disponível em: <http://rsbr.gov.br/pevjs/index.html>. Acesso em: 21 de ago. de 2021.
- REITHERMAN, Robert. The effects of the 1906 earthquake in California on research and education. *Earthquake Spectra*, v. 22, n. 2 suppl, p. 207-236, 2006
- SCARINCI, A. L. ; DIAS, V. S. **A reflexão e a Prática no Ensino Médio: Física**. 1. ed . São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2017. 176 p .
- SEVERN, R. T.; STOTEN, D. P.; TAGAWA, Y. The contribution of shaking tables to earthquake engineering. In: WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING, 15., 2012. **Anais [...]** Lisboa: Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica, 2012 Disponível em: https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/fifteenth_conf_purtgal/ Acesso em: 20 jul. 2021.
- SILVA, J. M. I. F.; MENDONÇA, J.E. Engenharia Sísmica em Edifícios. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, v.08, n. 202, Dec. 2020. DOI 10.35265/2236-6717-202-9060. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/engenharia-sismica-em-edificios>. Acessado em: 09/08/2021.
- SYMON, K. R. **Mecânica**. Tradução: Gilson Brand Batista. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1996. 685 p.
- TOLEDO, M.C.M; TEIXEIRA, W. BOUROTTE, C.L.M. **Geologia**. 1ª Ed. São Paulo: USP/Univesp/EDUSP, 2014. Licenciatura em Ciências, Módulo 2: Ambiente da Terra. 280 p.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Search Earthquake Catalog**, 2021. Disponível em: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>. Acesso em: 10 de jun de 2021.
- VYGOTSKY, Lev. **Pensamento e linguagem**. Tradução: Jéferson Luiz Camargo. São Paulo: Martins Fontes, 1993. 212 p.
- WICANDER, R.; MONROE, J. S. **Fundamentos de Geologia**. São Paulo: Cengage Learning, 508p, 2009.

APÊNDICE A – O PRODUTO EDUCACIONAL



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

NÍVEL MESTRADO PROFISSIONAL

MATHEUS MAIA CÂMARA

**PRODUTO EDUCACIONAL: DINÂMICA DE
TERREMOTOS PARA O ENSINO MÉDIO**

CARUARU

2022

MATHEUS MAIA CÂMARA

**PRODUTO EDUCACIONAL: DINÂMICA DE
TERREMOTOS PARA O ENSINO MÉDIO**

Produto educacional apresentado ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Formação de Professores de Física em Nível de Mestrado.

Orientador: Prof. Dr. Charlie Salvador Gonçalves

Caruaru

2022

SÚMARIO

	MENSAGEM AO(A) PROFESSOR(A)	3
1	EXPERIMENTO	4
1.1	A MESA DE AGITAÇÃO SÍSMICA	5
1.2	EDIFICAÇÃO E ATENUADOR DINÂMICO SINTONIZADO	12
1.3	CARACTERÍSTICAS OPCIONAIS	19
2	SEQUÊNCIA DIDÁTICA	21
3	OS ENCONTROS	22
4	OUTRAS ATIVIDADES COM O SIMULADOR DE SISMOS	27
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	28

Mensagem ao(a) professor(a)

Esse trabalho foi idealizado e desenvolvido pensando em auxiliá-los nas aulas de mecânica favorecendo um aprendizado a seus alunos através de uma aplicação dos conhecimentos em um equipamento já utilizado pela sociedade. Buscamos promover uma aprendizagem inserida dentro das tecnologias, promovendo assim maior interesse por parte de seus alunos. Este produto Educacional foi desenvolvido durante o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF na Universidade Federal de Pernambuco e aplicado em uma escola da Rede Estadual de Educação da Paraíba, na cidade de Puxinanã – PB. O presente material contém o manual de montagem de uma base de simulação de sismo, de uma edificação esguia em escala e de um atenuador dinâmico sintonizado. O equipamento foi projetado, de forma que possa ser produzido com materiais de fácil acesso, sendo possível o uso de diversos materiais. Os testes foram feitos com os materiais citados no manual de montagem, portanto pode existir pequenos ajustes de calibração caso algum material seja substituído. Esse produto é idealizado para estudos qualitativos de energia mecânica, oscilações e ressonância, permitindo visualizar os impactos causados por um sismo em uma edificação e a utilização de uma solução clássica para minimizá-los. O uso desse produto não traz a necessidade de nenhum curso específico. O presente material também contém um plano de aula e questionários a serem aplicados antes e depois da aplicação do produto educacional com seus alunos.

1 EXPERIMENTO

Os simuladores sísmicos são muito utilizados pela engenharia para testar a confiabilidade de uma estrutura em situações críticas de terremoto, viabilizando projetos, e garantindo a segurança, a durabilidade e a integridade das mais diversas edificações. Este simulador (Figura 1) consiste em uma base que possibilita provocar vibrações de frequências variadas nas estruturas, de forma a encontrar as vibrações que geram maior impacto nas construções.

Figura 1 – Produto educacional



Produto educacional com mesa de agitação sísmica linear.

Fonte: O Autor.

A mesa de agitação sísmica é constituída de um motor elétrico, alimentado por uma fonte de tensão variável, e conectado a uma biela anexada a um eixo que permite variar a amplitude da oscilação de uma plataforma móvel, dessa forma tanto a frequência quanto a amplitude podem ser ajustadas.

A edificação, em escala, escolhida para ser trabalhada foi um edifício esguio, a escolha foi motivada pela facilidade de visualização dos efeitos de um sismo. O edifício tem uma base quadrada de 13 cm de lado e uma altura de 1 m.

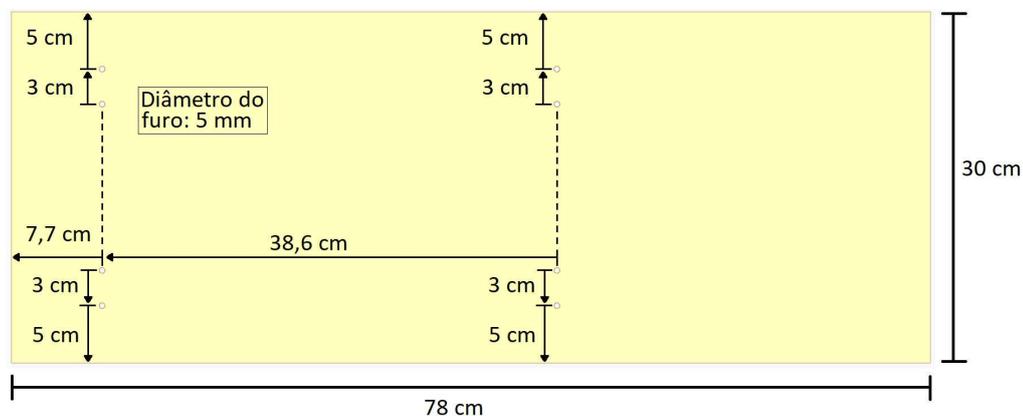
A solução escolhida de controle de vibrações foi o Atenuador Dinâmico Sintonizado (ADS) que é um dispositivo composto de uma massa, ligados à estrutura por mola(s) e amortecedor(es). Este equipamento normalmente fica localizado no topo da edificação, e possui uma frequência natural igual a frequência natural da estrutura.

Esse é o produto educacional desenvolvido durante o Mestrado Nacional Profissional de Ensino da Física (MNPEF) apresentado ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

1.1 A mesa de agitação sísmica

Toda estrutura é montada sobre a peça A feita em uma folha de MDF de 78 cm por 30 cm, onde foram feitos furos, conforme as figuras 2 e 3, de forma a serem afixados suportes para eixos lineares e o motor, nela também é feita uma fenda, para que seja montado um braço de alavanca.

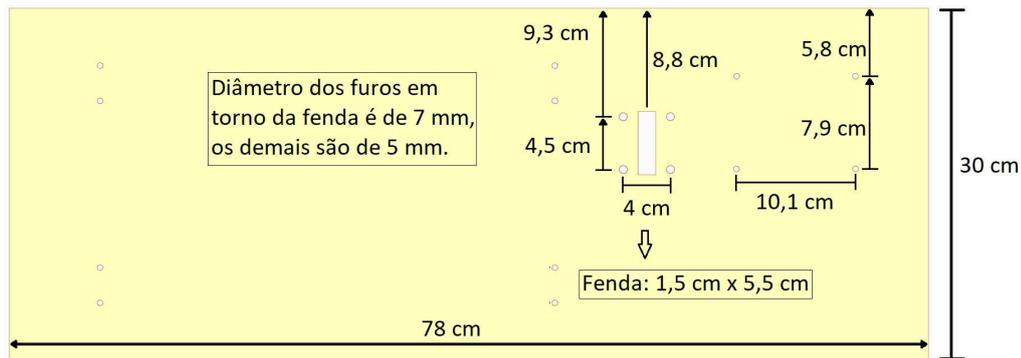
Figura 2 – Peça A em MDF para base da mesa de oscilação.



Com marcação das distâncias das perfurações para encaixe da plataforma móvel.

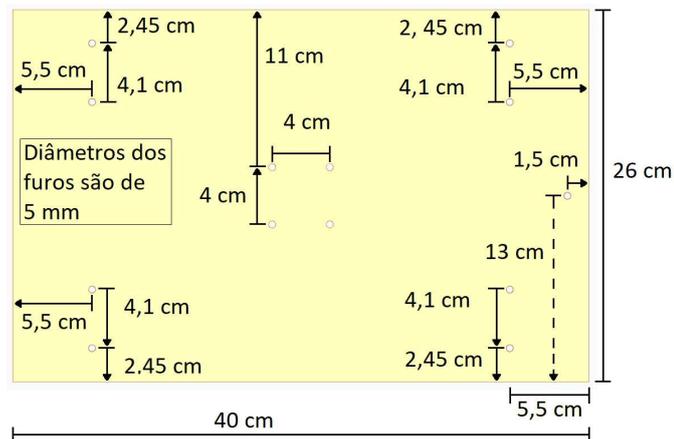
Fonte: O Autor.

Uma segunda folha de MDF de 40 cm por 26 cm foi utilizada para a plataforma móvel, no centro de um dos seus lados menores é colocada uma barra roscada de 5 mm de diâmetro, que virá a servir de eixo para conectar uma haste ligada ao braço de alavanca. No centro dessa tábua são feitos 4 furos com distância de 4 cm entre si formando os vértices de um quadrado, e furos são feitos a 2,45 cm do lado maior e 5,5 cm do lado menor nas quatro extremidades, sendo um segundo furo feito a 4,1 cm do primeiro como mostrado na Figura 4.

Figura 3 – Peça A com marcações para encaixe do motor.

Mesma peça anterior destacando as distâncias para perfurações dos encaixes do motor.

Fonte: O Autor.

Figura 4 – Peça B em MDF da plataforma móvel da mesa de oscilação.

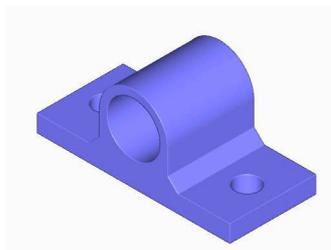
Marcações das distâncias para perfuração.

Fonte: O Autor.

Na peça B de MDF, são fixados os encaixes dos rolamentos lineares ver Figura 5 nos furos mais próximos dos vértices da folha conforme a Figura 6, utilizando parafusos, esses suportes são feitos com impressora 3D, como alternativa, os suportes podem ser confeccionados em madeira, ou substituídos por rolamentos em *pillow block*. Nesta também é colocado uma barra roscada de 5 cm no furo central de um dos lados menores.

Na peça A de MDF, duas placas de aço são parafusadas de forma que a fenda feita por elas seja suficiente para passar a rosca de um parafuso M7, porém que a cabeça dele fique presa entre elas, deixando a rosca para cima, e a cabeça dentro da fenda do MDF, então deve ser preso nas placas utilizando uma porca e arruela. Essas placas, por sua vez, devem ser fixadas por parafusos a peça A (Figura 7). Esse parafuso servirá de eixo para um braço de alavanca.

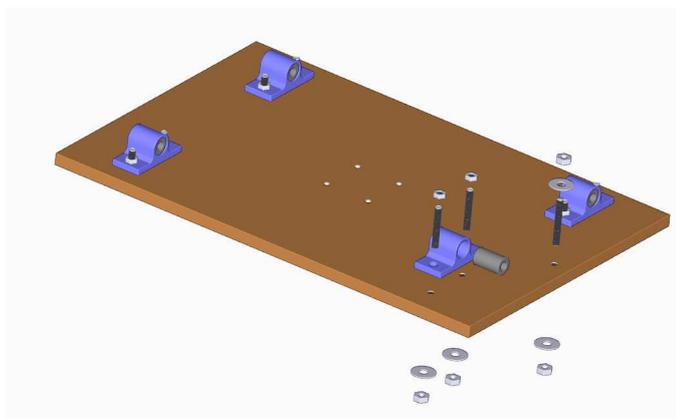
Figura 5 – Peça de encaixe do rolamento linear.



Peça de encaixe feita utilizando impressão 3D.

Fonte: O Autor.

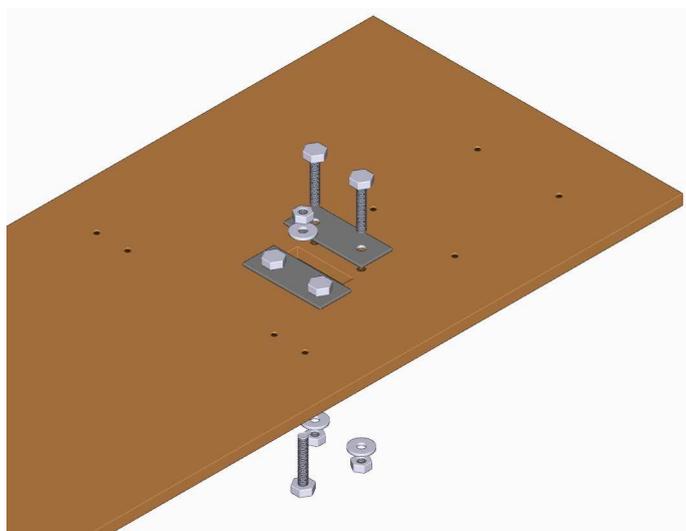
Figura 6 – Plataforma móvel com rolamentos.



Detalhes da fixação dos encaixes dos rolamentos na plataforma móvel.

Fonte: O Autor.

Figura 7 – Eixo móvel para braço de alavanca.

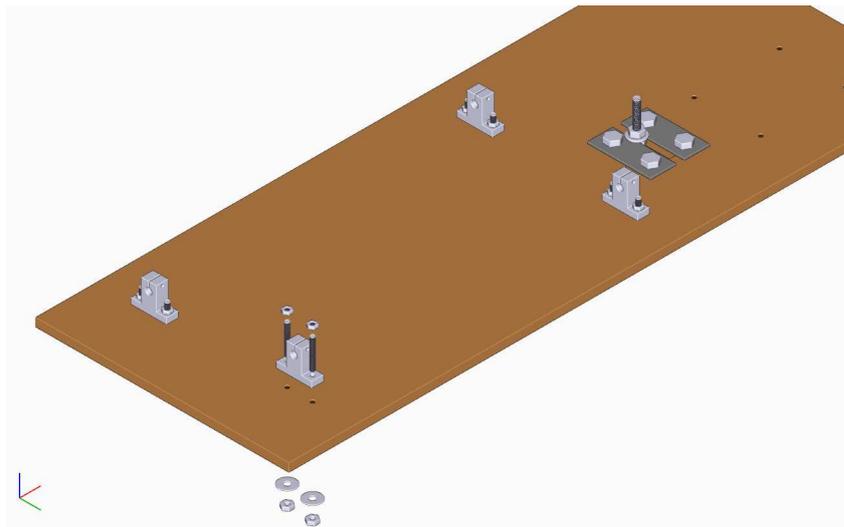


A fenda, na base da mesa, permite variar a posição do eixo, modificando o centro de rotação do braço de alavanca.

Fonte: O Autor.

Nessa mesma base é fixado, utilizando parafusos, quatro suportes para eixo linear SK8 nos furos próximos às extremidades (Figura 8), posicione os suportes de forma que os parafusos para prender o eixo fiquem para o lado de fora. Em seguida posicione o MDF menor sobre o maior de forma a conectar os dois utilizando dois eixos lineares de 8 mm de raio e 40 cm de comprimento, que devem ser presos utilizando os parafusos do suporte Sk8 (Figura 9). Esta montagem possibilita mudar a posição do parafuso.

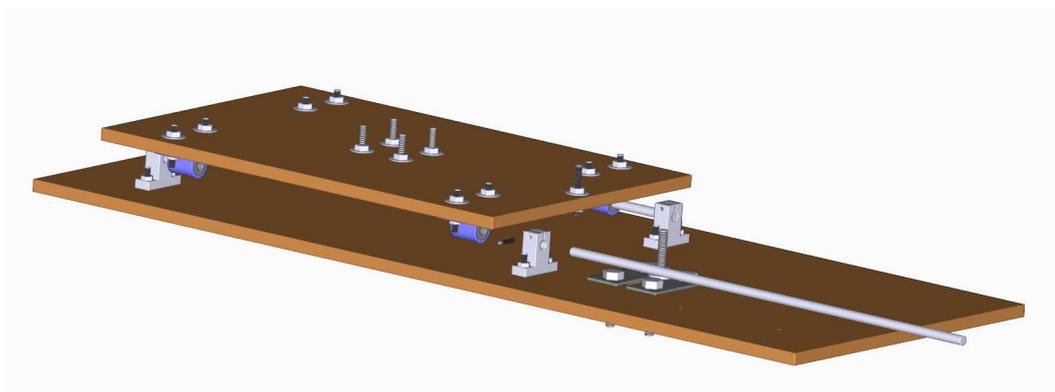
Figura 8 – Fixação dos suportes SK8.



Detalhes da fixação dos suportes SK8 na base da mesa.

Fonte: O Autor.

Figura 9 – União das duas bases pelos eixos.



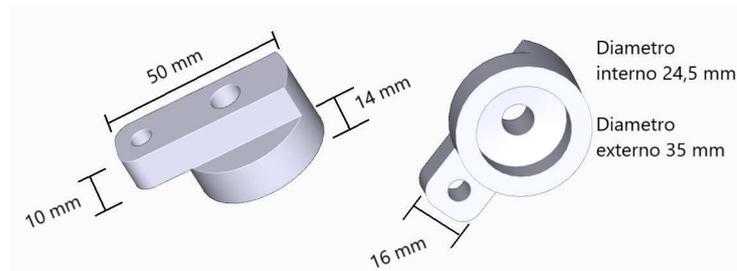
As duas bases são unidas através dos eixos lineares que são fixados pelos suportes SK8.

Fonte: O Autor.

Para fazer a conexão de um rolamento rígido de esferas ao braço de força é necessário uma peça de encaixe, a mesma é presa com porcas e parafuso a um perfil de ferro em formato de U. As dimensões desta peça dependem do tamanho do rolamento e do perfil de ferro utilizado, a Figura 10 apresenta as dimensões utilizadas nesse produto, esta peça foi feita a partir de

impressão 3D, porém a mesma pode ser fabricada em MDF ou outra madeira. Um cuidado importante na confecção dessa peça é que o centro da cavidade onde será encaixado o rolamento deve ter uma profundidade ligeiramente maior que suas bordas, para que não trave o rolamento.

Figura 10 – Encaixe do rolamento do braço de alavanca.

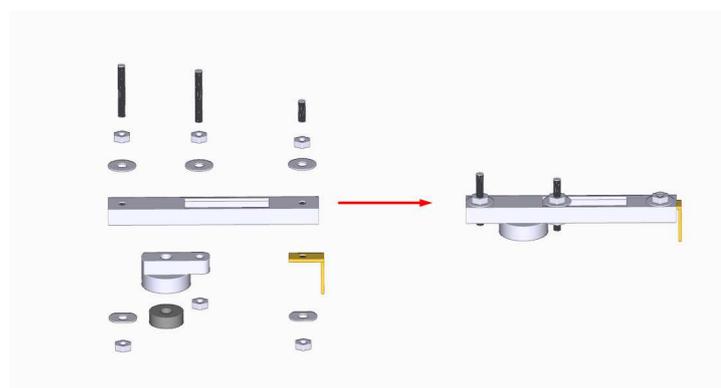


Peça de encaixe feita utilizando impressão 3D.

Fonte: O Autor.

Sobre a peça de encaixe do rolamento é afixado um perfil de ferro em U de 15 cm de comprimento, formando o braço de alavanca, com uma fenda de 6 cm de comprimento, a largura dessa fenda deve ser apenas suficiente para que o parafuso possa passar. Essa fenda deve estar a 3,5 cm, de uma das extremidades do perfil, onde através dessa fenda é preso a peça de encaixe do rolamento, desta forma permitindo mudar a posição do parafuso, que funciona como eixo. Na extremidade mais distante da fenda, uma barra roscada de 5 mm de diâmetro e 6 cm de comprimento é presa, que servirá de eixo para conectar com uma haste a base oscilante ao eixo regulador. Na outra extremidade é fixada uma cantoneira (Figura 11).

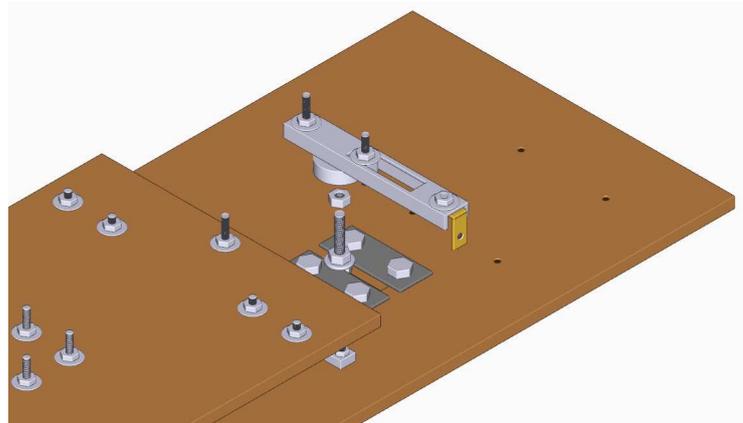
Figura 11 – Braço de alavanca.



Detalhes da montagem do braço de alavanca.

Fonte: O Autor.

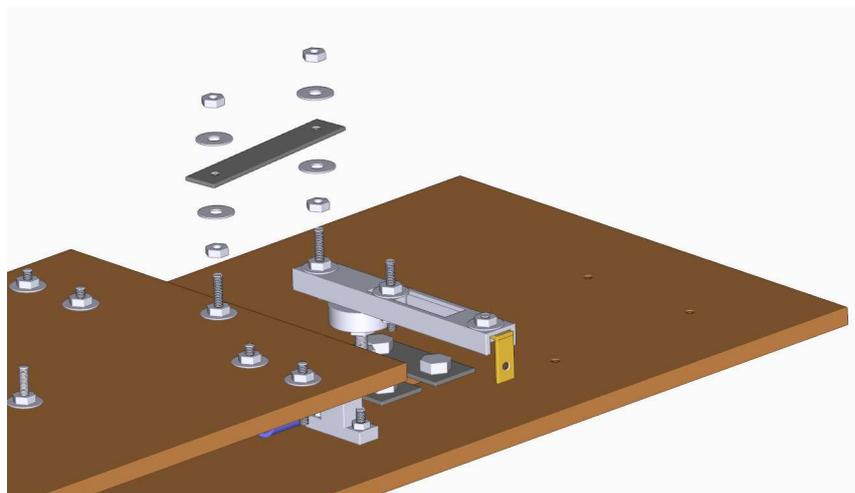
Para apoiar o braço de alavanca é colocado uma porca auto travante sobre o parafuso preso entre a fenda das placas de aço, essa porca servirá para regular a altura do eixo, depois colocaremos o braço de alavanca sobre a porca de forma que a mesma apoie o rolamento (Figura 12).

Figura 12 – Braço de alavanca.

Encaixe do braço de alavanca no eixo móvel.

Fonte: O Autor.

Agora é colocado uma chapa de alumínio (Figura 13), de 11 cm por 2 cm, com um furo em cada extremidade, nos parafusos do braço de alavanca e da base móvel de forma a conectá-los. A chapa deve ser presa utilizando porcas e arruelas, porém não restringindo seu movimento ao apertar a porca.

Figura 13 – Conexão do braço de alavanca e da plataforma móvel.

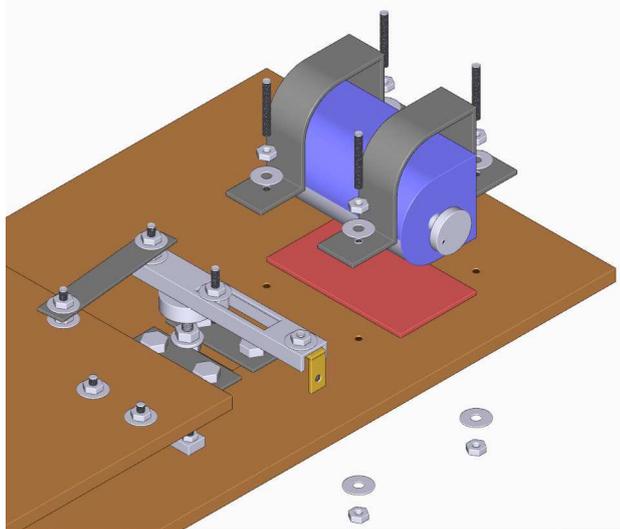
Detalhes da montagem do eixo que liga o braço de alavanca a plataforma móvel.

Fonte: O Autor.

Em sequência é posicionado o motor, colocando um corte de uma folha de espuma EVA em baixo, para minimizar a vibração do motor na plataforma, e é fixado, utilizando chapas de alumínio, moldadas no formato do motor, que é parafusado nos buracos previamente perfurados (Figura 14). O motor utilizado, foi um motor de corrente contínua com tensão operacional de 2 V a 12 V, com uma caixa de redução de velocidade de 5:1, torque de 0,2 N/m e frequência

máxima sem carga de 900 rpm e a alimentação do motor foi feita com uma fonte de tensão elétrica variável de 0 a 24 V.

Figura 14 – Presilhas do motor.

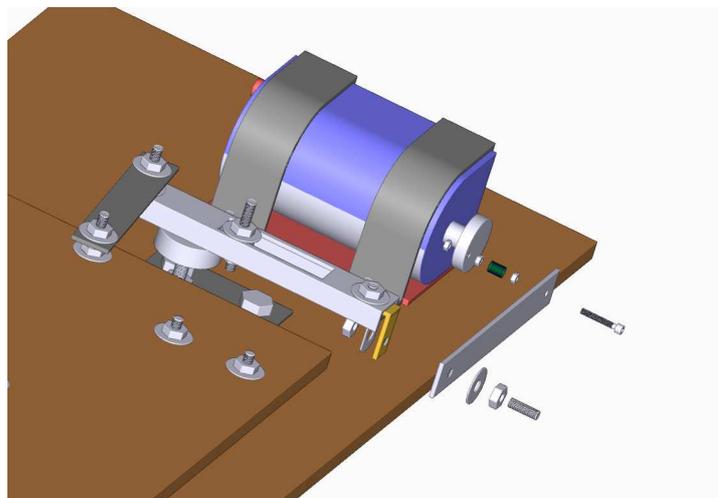


O formato das presilhas está de acordo com o formato do motor utilizado.

Fonte: O Autor.

Por fim o motor é conectado ao braço de alavanca por uma chapa de alumínio de 14 cm por 2 cm, com um furo em cada extremidade, utilizando porca e arruela para prendê-la ao braço de alavanca e um parafuso M3 para fixá-la no motor. A tensão demasiada nas porcas podem travar o movimento do braço de alavanca e forçar o motor. Para ajustar a distância da chapa com o motor, foi utilizado porcas para o parafuso M3 e um pequeno tubo de borracha (Figura 15).

Figura 15 – Conexão do braço de alavanca e do motor.



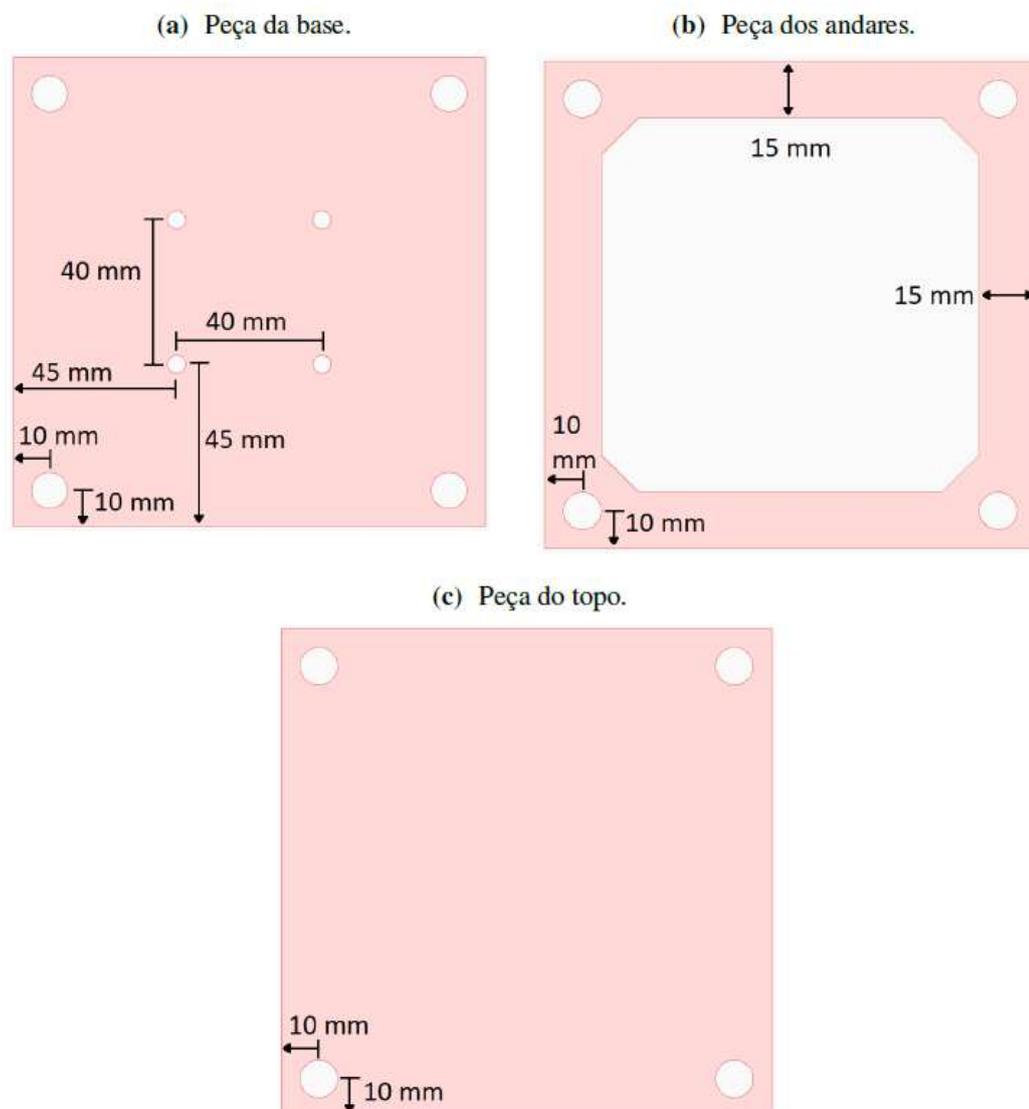
Haste de conexão do braço de alavanca com o motor.

Fonte: O Autor.

1.2 Edificação e Atenuador Dinâmico Sintonizado

A edificação é formada por quatro barras roscadas, de 1 m de comprimento e 5 mm de diâmetro, e peças em MDF cortadas a LASER todas elas com 130 mm por 130 mm por 6 mm. Na primeira peça (Figura 16a), que servirá para base do prédio, os furos próximos dos vértices possuem 10 mm de diâmetro e os centrais 5 mm. A segunda peça (Figura 16b) é utilizada para os andares, foram utilizadas seis peças desse modelo, e seus furos possuem 10 mm de diâmetro e a terceira (Figura 16c) será utilizada para o topo da edificação e ela também possui furos com 10 mm de diâmetro. As demais características dessas peças podem ser observadas nas Figuras 16 a,b e c.

Figura 16 – Peças da edificação.



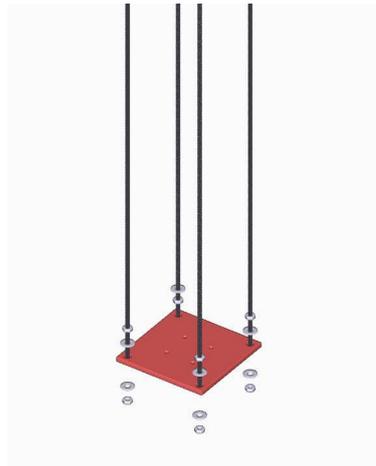
Dimensões e distâncias para perfurações das peças referentes a base, andar e topo da edificação.

Fonte: O Autor.

Prendemos, com porcas e arruelas, as barras roscadas à peça da base (Figura 17) nos

furos externos da mesma, é importante aqui que se não deixe a barra roscada passando da porca, pois caso isto aconteça, a fixação do prédio à mesa será prejudicada. Para que esse procedimento seja feito de forma correta é importante a utilização de um equipamento de nível para verificar se a peça da base e as peças dos andares e topo estão perfeitamente alinhadas, caso contrário, pode gerar torção na estrutura.

Figura 17 – Conexão da base do prédio.

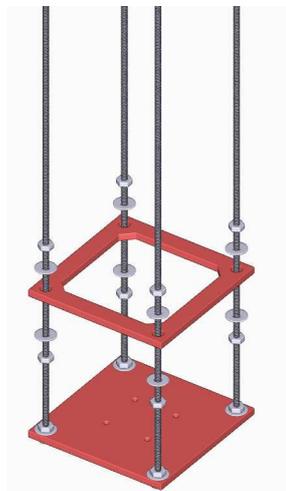


Início da montagem da edificação, pela peça da base com as barras roscadas.

Fonte: O Autor.

Da mesma forma da base, as peças dos andares devem ser prendidas na barra roscada (Figura 18), com uma distância de 13,6 cm uma da outra, sendo fixadas dessa forma um total de cinco peças (Figura 19). Após o nivelamento as porcas devem ser bem apertadas, caso esse procedimento não seja feito, o alinhamento será perdido quando a estrutura for posta em oscilação na mesa de agitação.

Figura 18 – Conexão do andar do prédio.



Nessa montagem, as porcas devem estar bem apertadas, para que não folguem com as vibrações.

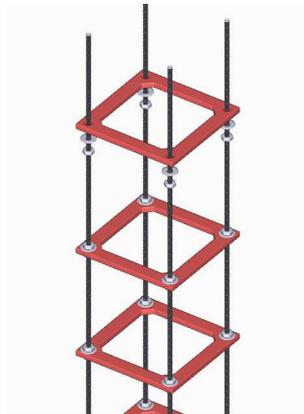
Fonte: O Autor.

Figura 19 – Disposição dos andares do prédio.

Distâncias entre os andares devem ser iguais.

Fonte: O Autor.

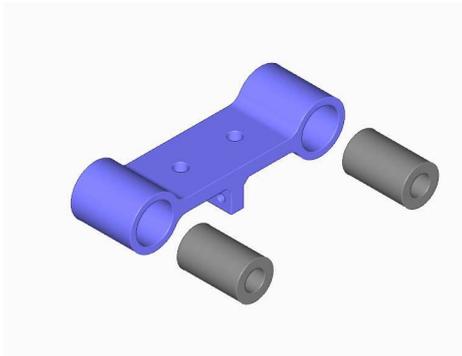
Para o sexto andar do prédio, deve ser colocado inicialmente, apenas as porcas e arruelas inferiores à peça do andar (Figura 20), mantendo ainda o procedimento de verificação de nível. Essa peça dará suporte para a montagem do atenuador dinâmico sintonizado.

Figura 20 – Andar do atenuador.

No andar do atenuador, as porcas e arruelas acima do andar só são colocadas após a alocação do atenuador.

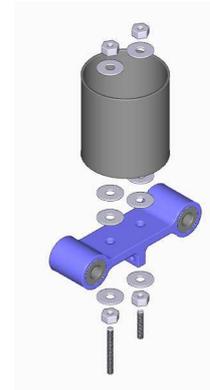
Fonte: O Autor.

Para a montagem do atenuador, é necessário a confecção de uma peça de encaixe para os rolamentos (Figura 21), os rolamentos, nessa peça, devem ficar a uma distância de 67 mm de centro a centro, essa foi feita utilizando impressão 3D, mas a mesma pode ser confeccionada em madeira. Nessa peça também deve ser conectado um recipiente para ser acrescentado massa no atenuador (Figura 22), o recipiente utilizado foi uma tampa de lata de tinta em *spray* ao qual foi parafusado com duas barras roscadas. Neste ponto deixe uma dessas barras com um tamanho sobressalente de 20 mm.

Figura 21 – Encaixe dos rolamentos do atenuador.

Modelo feito em impressão 3D

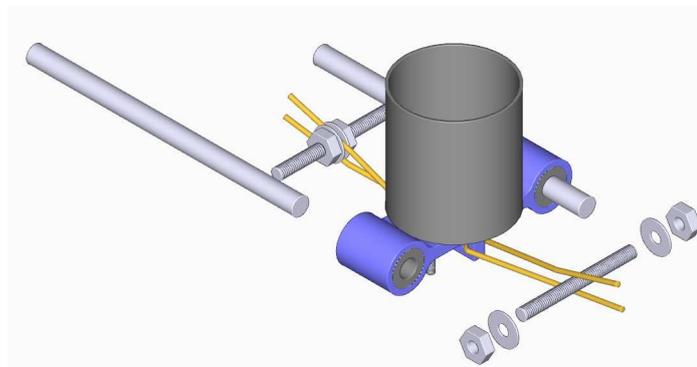
Fonte: O Autor.

Figura 22 – Recipiente para acréscimo de massa.

Montagem do recipiente para acréscimo de massa.

Fonte: O Autor.

Pelos rolamentos são colocados dois eixos lineares de 125 mm. Na peça de encaixe são fixados, através de dois orifícios, dois elásticos, que foram cortados em uma das pontas, de forma que eles fiquem de lados opostos na peça e paralelos aos eixos, como mostra a Figura 23. Os dois elásticos devem ficar presos próximos às pontas cortadas, por um par de arruelas e porcas na barras roscadas de 52 cm.

Figura 23 – Eixos e elásticos do atenuador.

Posicionamento dos eixos nos rolamentos e fixação dos elásticos nas barras roscadas.

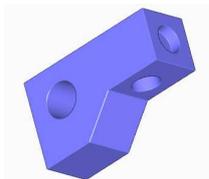
Fonte: O Autor.

Para a montagem do atenuador, devem ser confeccionadas quatro peças para encaixar o atenuador no prédio (Figura 24), essa peça deve conter um encaixe para o eixo linear e outro para a barra roscada que prende o elástico (Figura 25). É importante que esses encaixes deixem tanto os eixos quanto as barras roscadas justas.

Com todas as peças do atenuador posicionadas, ele deve ser colocado sobre o último andar que foi montado e assim fixado utilizando porcas e arruelas como fizemos nos andares anteriores. Para finalizar o atenuador é colocada algumas peças de chumbo que servirão para controle da massa do ADS (Figura 26). Devemos então montar o topo do prédio, seguindo os

mesmos passos que fizemos com os demais andares até aqui, com diferença que a peça do topo não é vazada (Figura 27).

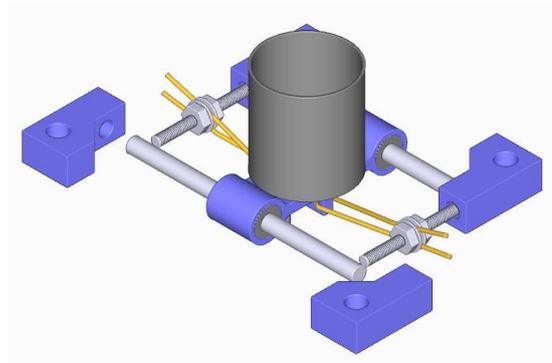
Figura 24 – Peça de encaixe do atenuador.



Modelo feito em impressão 3D.

Fonte: O Autor.

Figura 25 – Atenuador Dinâmico Sintonizado.

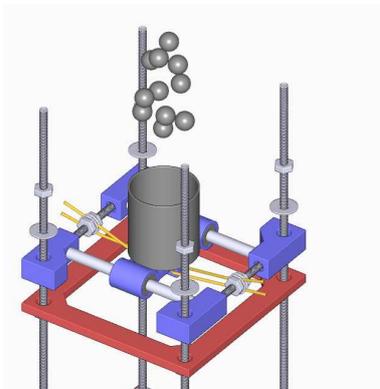


Posicionamento dos rolamentos e barras roscadas.

Fonte: O Autor.

Para finalizar a estrutura do prédio, uma pequena trava feita com chapa de alumínio foi posicionada prendendo a barra roscada sobressalente do ADS, impossibilitando o mesmo se movimentar no andar (Figura 28).

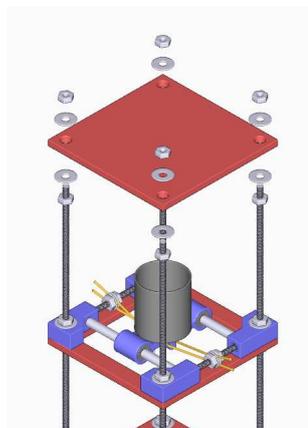
Figura 26 – Andar com ADS.



Fixação do ADS em seu andar.

Fonte: O Autor.

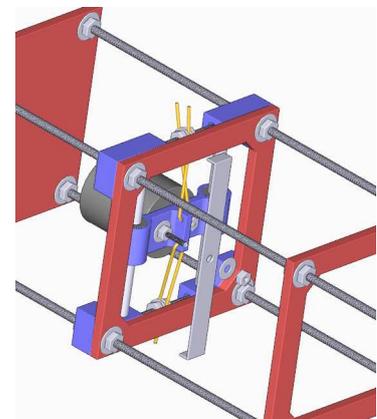
Figura 27 – Topo do prédio.



Fixação da peça do topo.

Fonte: O Autor.

Figura 28 – Trava do ADS.

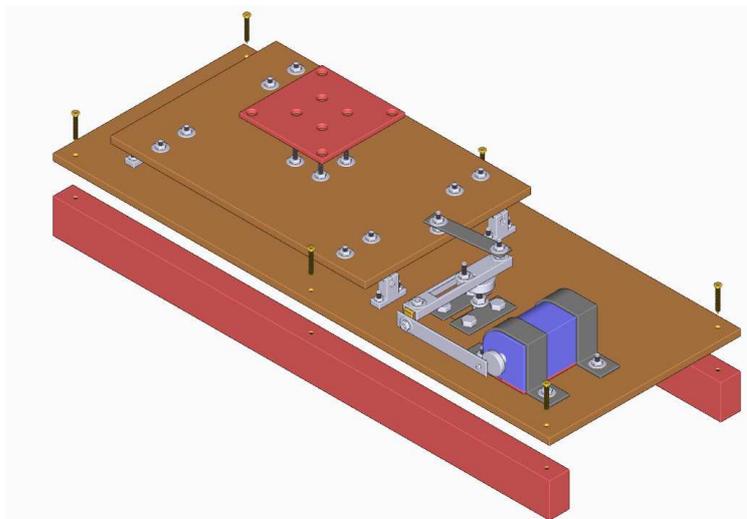


Encaixe da trava.

Fonte: O Autor.

Para concluir a montagem, devemos unir a estrutura do prédio a mesa de agitação, posicionando uma peça similar à da Figura 16a, porém com todos os furos com diâmetro suficiente para comportar dentro deles as porcas utilizadas na base do prédio e nos furos centrais da mesa, feito isso essa deve ser posicionada sobre os parafusos (Figura 29). Em seguida o prédio deve ser posicionado nos mesmos parafusos e preso por quatro porcas com arruelas (Figura 30). Na Figura 31, podemos ver o modelo completo.

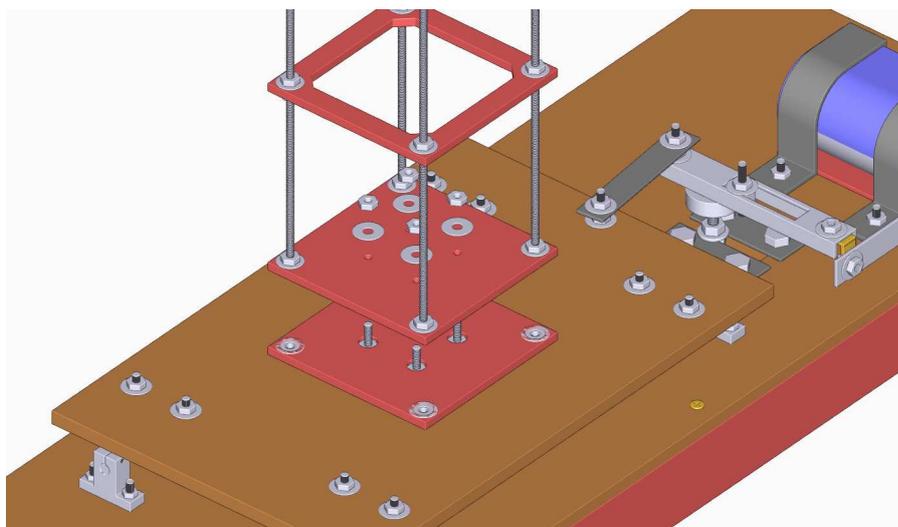
Figura 29 – Peça para encaixe do prédio.



Essa peça evita desníveis no posicionamento do prédio.

Fonte: O Autor.

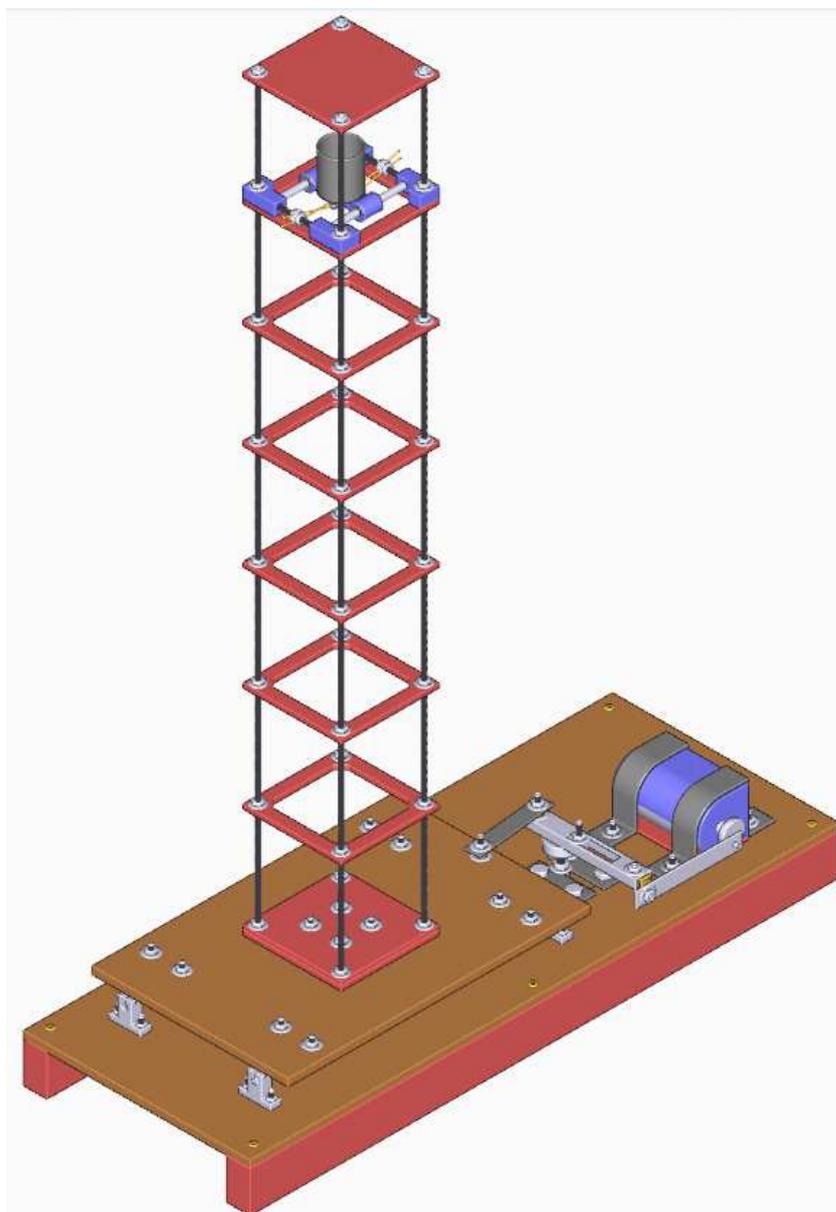
Figura 30 – Acoplamento do Prédio à Base.



Detalhes da fixação do prédio.

Fonte: O Autor.

Figura 31 – Produto educacional montado.



Visão isométrica do modelo do experimento.

Fonte: O Autor.

1.3 Características Opcionais

Esta seção traz algumas alterações opcionais que poderão aumentar a eficiência do experimento e/ou reduzir gastos.

Para reduzir a vibração sobre toda a base, podem ser adicionadas ripas extras de madeira, de forma a aumentar o peso da mesma e colar borracha antiderrapante (Figura 32) como alternativa a prender o produto em uma mesa durante o uso.

Figura 32 – Borracha antiderrapante.



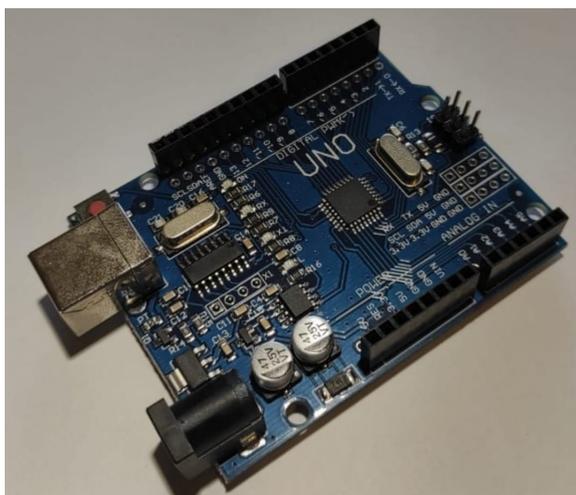
Utilização desta borracha evita o deslocamento da mesa.

Fonte: O Autor

Para garantir um maior controle e confiabilidade na frequência de rotação do motor, pode se utilizar uma placa Arduíno (Figura 33), que possibilita uma troca de frequência de forma mais precisa.

Caso a utilização do motor não seja possível outra solução é substituí-lo, por uma máquina de serra Tico-Tico (Figura 34), fixando-a na base, e adaptando uma peça de metal para encaixar no lugar da serra e prendê-la no braço de força. Outra solução de substituição é a utilização de um motor de limpador de para-brisa, a peça de ligação com o braço de força deve ser adaptada de acordo com o modelo desse motor.

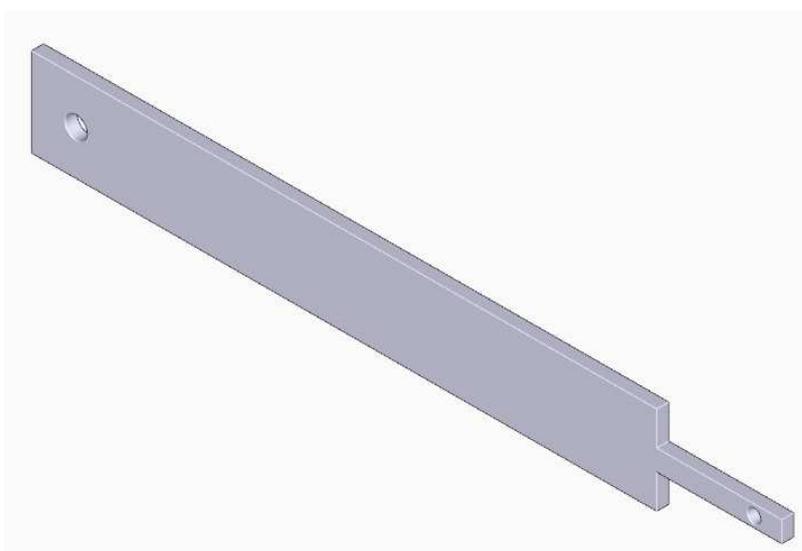
Figura 33 – Placa Arduino.



Placa de Arduino modelo Uno R3.

Fonte: O Autor.

Figura 34 – Modelo de peça para usar Serra Tico-Tico.



Nessa imagem segue uma sugestão de peça para adaptar a serra Tico-Tico ao experimento.

Fonte: O Autor.

2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Objetivos

Promover a compreensão dos conceitos científicos, através de uma metodologia que coloca os alunos como protagonistas, permitindo assim que o raciocínio crítico se desenvolva. Além disto as atividades feitas de forma coletiva agregam no crescimento sócio-emocional dos mesmos, tornando os indivíduos mais preparados para a vida em sociedade.

Duração

4 horas e 40 min de atividade síncrona.

Disposição do tempo

As atividades acontecem durante 3 semanas sendo 1 hora de atividade síncrona na primeira semana, 1 hora e 40 min de atividade síncrona na segunda semana e 1 hora e 40 min de atividade síncrona na terceira semana.

Metodologia

Usaremos uma metodologia de ensino por investigação, onde o aluno é levado a produzir hipóteses e testá-las, junto às praticas de debates, onde os alunos podem compartilhar suas hipóteses e construir uma teoria em conjunto, em cima da situação-problema.

Conteúdos Abordados

Trabalho mecânico, energias cinética, potencial elástica e gravitacional, oscilações e ressonância.

Objetivos Pretendidos

Desenvolvimento de um pensamento crítico científico, apropriação dos conceitos envolvendo trabalho, energias e oscilações, bem como a aplicação desses conceitos envolvendo soluções da engenharia.

3 OS ENCONTROS

1^o Encontro: Apresentação das atividades

Objetivo:

Apresentar a sequência didática, explicar sobre o ensino investigativo, promover interesse dos alunos no processo de aprendizagem e gerar um parâmetro comparativo para verificar a aprendizagem dos alunos.

Material usado:

- Formulário Google para aplicação do pré-teste, de forma a obter parâmetros para comparar a evolução cognitiva dos alunos. Este formulário apresenta situações em vídeo, utilizadas na problematização das questões.

Atividades:

- Apresentação da sequência didática.
- Apresentar a proposta do ensino por investigação e dos conceitos a ela pertencentes.
- Aplicação do Pré-Teste.



Destaque:

Durante a conversa sobre testar as hipóteses, deve-se tornar claro que o autor de uma hipótese deve ser o seu maior crítico, de forma a fazer com que eles não queiram apenas defender suas hipóteses, mas sim provar que elas são válidas. O Pré-teste apresenta vídeos curtos introduzindo situações problemas, para que a partir delas os alunos possam responder às perguntas propostas.

Ação docente:

- Apresentar de forma clara, as atividades que serão realizadas.

- Apresentar e desenvolver os conceitos de proporcionalidade, problema, hipótese, experimentação, exploração, obtenção e interpretação de dados e conclusão.
- Diagnosticar o conhecimento da turma com relação aos fenômenos a serem estudados.

Roteiro:

- Apresentação das atividades, descrevendo cada etapa de forma clara, essa apresentação pode ser feita através de slides ou utilizando um quadro físico ou virtual. É importante que essa apresentação seja feita de forma presencial ou remota síncrona, para que todas as dúvidas do processo sejam sanadas.
- Apresentar a metodologia do ensino por investigação, com o intuito de estimular os alunos a participar do processo de ensino, apresentando os conceitos de hipótese, experimentação, exploração, interpretação de dados e conclusão, mostrando de forma clara que esse processo é essencial na produção do conhecimento científico. Evidenciando que ele não precisa ser um processo individual, e sim que as atividades coletivas torna-o mais rápido e eficiente.
- Aplicação do pré-teste, preferencialmente de forma remota síncrona ou presencial, através de um formulário do Google, com problemas e situações envolvendo as temáticas de trabalho, energia, oscilações e ressonância.

2º Encontro: Aprendizagem através da investigação

Objetivo:

Desenvolver um pensamento crítico e as etapas do ensino por investigação. Debater sobre o assunto de oscilação e ressonância, desconstruindo os conceitos oriundos do senso comum.

Materiais Usados:

- Experimento da mesa de agitação sísmica com a edificação.
- Caderno e lápis para anotações referentes a experimentação e exploração, bem como para interpretação dos dados por elas obtidos.
- Quadro digital ou físico para anotações das ideias dos alunos e auxílio na organização dos mesmos.

Atividades:

- Apresentação do produto educacional, mostrando seu funcionamento.

- Apresentação das situações problemas sobre oscilações e ressonância.
- Prática experimental: Oscilações e ressonância.
- Debates e *brainstorms* a fim de produzir hipóteses que solucionem as situações problemas.

Destaque:

Durante a prática experimental, o professor deve deixar o aluno confortável a levantar hipóteses e buscar testá-las; caso não esteja limitado pelo tempo, permitir ao aluno voltar ao experimento para testar uma nova ideia. Durante os debates é importante que o professor interfira o mínimo possível, evitando apenas assuntos que fujam aos temas trabalhos, e promovendo problematizações para reavivar o debate quando necessário.

Ação docente:

- Apresentar de forma clara, o funcionamento do produto educacional.
- Promover problematizações que facilitem o desenvolvimento dos significados desejados, através dos debates.
- Mediar as explorações dos alunos no experimento.
- Mediar os debates e os *brainstorms*.

Roteiro:

- Inicie o encontro apresentando o experimento, mostrando ao aluno ele em funcionamento e identificando para eles quais são as manipulações possíveis de serem feitas.
- Promover uma primeira interação com o experimento, onde os alunos possam variar a frequência da oscilação da base, de forma a notarem a relação da frequência da base com a oscilação da edificação.
- Motivar um debate, levantando problematizações para os alunos identificarem e desenvolverem os conceitos que envolvem oscilações e ressonância, tais como, frequência, amplitude, período, frequência natural.

3^o Encontro: Construindo conceitos científicos

Objetivos:

Desenvolver um pensamento crítico e distinguir as diferenças entre conhecimento científico e espontâneo, as etapas do ensino por investigação. Debater sobre o assunto de trabalho

e energia e desconstruir os conceitos oriundos do senso comum. Compreender, desenvolver e interpretar os conceitos científicos de trabalho, energia, oscilação e ressonância.

Materiais Usados:

- Produto educacional, mesa de agitação sísmica e edificação com atenuador de massa sintonizada.
- Caderno e lápis para anotações referentes a experimentação e exploração, bem como para interpretação dos dados por elas obtidos.
- Quadro digital ou físico para anotações das ideias dos alunos e auxílio na organização dos mesmos.
- Formulário Google contendo pós-teste, para análise do desenvolvimento cognitivo dos alunos.

Atividades:

- Reapresentação do produto educacional, destacando o ADS.
- Apresentação da situação-problema, envolvendo os temas de trabalho e energia.
- Prática experimental: Trabalho e energia.
- Debates e *brainstorms* a fim de produzir hipóteses que solucionem as situações problemas.
- Outras soluções de amortecimento.
- Aplicação do pós-teste.

Destaque:

Na apresentação do ADS, o professor deve tomar cuidado para não explicar os princípios físicos do funcionamento, explicando apenas quais características estão disponíveis para serem alteradas e como operar o experimento. Durante os debates é importante que o professor interfira o mínimo possível nos debates, evitando apenas assuntos que fogem ao temas trabalhados, e promovendo problematizações para reavivar o debate quando necessário.

Ação docente:

- Apresentar de forma clara, o funcionamento do ADS, destacando as características eles podem variar.
- Promover problematizações que facilitem o desenvolvimento dos significados desejados, através dos debates.

- Mediar as explorações dos alunos no experimento.
- Mediar os debates e os *brainstorms*.
- Aplicação do pós-teste.

Roteiro:

- Iniciar o encontro apresentando o funcionamento do produto educacional, mostrando de forma clara todas as interações possíveis como equipamento, focando principalmente nas variáveis do ADS.
- Promover uma interação com o experimento, onde os alunos possam interagir com o atenuador, variando sua massa e constante elástica. Neste momento é importante que os grupos utilizem a frequência de ressonância do prédio, caso o grupo não chegue neste ponto naturalmente, se faz necessária uma intervenção do professor.
- Motivar um debate, através da situação de amortização da oscilação ocasionada pelo atenuador, buscando que os alunos identifiquem a transferência de energia entre as partes do sistema e desenvolvam os conceitos de trabalho, energia cinética, energia potencial elástica.
- Buscar junto com os alunos alternativas para substituir o atenuador que é um sistema massa mola, caso os alunos não cheguem naturalmente a conclusão de um pêndulo, o professor pode promover uma interferência para facilitar esse processo. Em sequência indagar junto a eles qual energia está substituindo a energia potencial elástica, para o caso do pêndulo, e buscar entender como ela funciona.
- Aplicar o pós-teste, para que, junto com o pré-teste, possa se diagnosticar a evolução cognitiva e a aprendizagem referente aos conceitos trabalhados.

4 OUTRAS ATIVIDADES COM O SIMULADOR DE SISMOS

Experimento: Cinemática do movimento harmônico simples

A base oscilante é um sistema massa-mola que possibilita explorar todas as características do MHS. Utilizando materiais de medição simples como réguas, transferidores e cronômetros, e trabalhando em uma baixa rotação do motor, é possível fazer experimentos quantitativos de cinemática. Explorando conceitos como amplitude, velocidade, posição, angulares e lineares. Associando o movimento circular do motor com o movimento oscilatório da base.

Experimento: Oscilações forçadas e amortecidas

Com a utilização de um software de análise de vídeo, como o Tracker®, se torna viável atividades de cunho qualitativo e quantitativo explorando a estrutura do prédio como um oscilador forçado e amortecido. Para essa atividade se faz necessária a análise mais detalhada de dados e gráficos, para identificar as forças e os tipos de amortecimento no sistema. Essa atividade se torna mais indicada para alunos do ensino superior, podendo também ser aplicada com alunos do ensino médio em processo de preparação para olimpíadas de física.

Experimento: Constante elástica

Utilizando apenas o mecanismo do ADS do produto é possível fazer experimentos para identificar a constante elástica, através de recurso de vídeo, de preferência com função de câmera lenta, é possível através da frequência de oscilação estimar e comparar diversos materiais com propriedades elásticas, analisando com softwares como o Tracker®. Nesse mesmo experimento ainda é possível trabalhar a relação entre frequência e massa do sistema massa-mola.

Experimento: Atenuação de vibrações provocadas pelo vento

O princípio desse experimento é o mesmo das oscilações provocadas por sismos. Para que esse experimento seja feito, será necessário cobrir a estrutura do prédio com papel ou tecido, de forma a promover maior contato do ar com a estrutura. Então utilizando um motor com uma hélice acoplada e a fonte de tensão variável, pode-se verificar que o mesmo causará vibração e ressonância na estrutura.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mesa de agitação sísmica é um equipamento de alto custo, utilizado principalmente para pesquisa na área de engenharia. Contudo, a construção do equipamento, a qual a mesa faz parte, foi pensado para ser um produto educacional acessível, de forma que os professores possam replicá-lo e utilizá-lo juntamente com a sequência didática em suas turmas. O produto foi pensado de forma a poder trabalhar diversos temas, como vistos na seção anterior, de forma que outras atividades possam ser feitas com o mesmo.

A sequência didática permite trabalhar tópicos de física relacionando-os com os conhecimentos prévios dos alunos e com aplicações tecnológicas. Ela também coloca o aluno na posição de protagonista, promovendo autonomia dos alunos e despertando o interesse no processo de aprendizagem. Além de trabalhar associada ao experimento desse produto, essa sequência pode ser trabalhada com outros experimentos de forma a englobar outros conteúdos, utilizando a mesma metodologia.

Por fim, as práticas avaliativas presentes nessa sequência possibilitam aplicação remota síncrona, onde os alunos têm que interpretar situações através dos conceitos físicos aprendidos. Possibilitando uma verificação, dos conhecimentos prévios e da aprendizagem promovida pelo produto, com problemas contextualizados permitindo, ao professor diversificar suas atividades buscando um ambiente avaliativo menos hostil.