

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ARTHUR CURRY CARNEIRO BORGES

**UTILIZAÇÃO DE VÍDEOS ANIMADOS NA APRENDIZAGEM DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS**

VITÓRIA  
2022

ARTHUR CURRY CARNEIRO BORGES

**UTILIZAÇÃO DE VÍDEOS ANIMADOS NA APRENDIZAGEM DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Departamento de Engenharia Civil (UFES), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Rodrigo Silveira Camargo

VITÓRIA  
2022

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus familiares por terem sempre se esforçado para me proporcionar uma educação de qualidade e também aos meus amigos do curso por compartilhar comigo esta jornada que foi a graduação. Mais importante que a própria guerra é quem está nas trincheiras ao seu lado.

Aos meus professores do ensino médio, pois se estou aqui hoje é porque eles fizeram um bom trabalho.

Aos professores do curso, especialmente meu Orientador Rodrigo Silveira Camargo por transmitir tanto conhecimento em uma área tão rica que é a Engenharia Civil. Além disso, Rodrigo contribuiu muito para o meu engajamento com a graduação e também para a finalização deste trabalho.

## RESUMO

O uso de internet e de novas tecnologias de informação e comunicação tem facilitado o acesso ao conhecimento e estimulado a busca por novos meios de aprendizado. Assim, o objetivo deste trabalho é utilizar os vídeos animados para auxiliar os estudos de vibrações mecânicas. A avaliação do impacto do trabalho consiste em uma pesquisa qualitativa e quantitativa, cuja técnica de investigação será a utilização de um questionário no formato NPS (*Net Promoter Score*). Após o estudo realizado por diversos autores a respeito de vibrações mecânicas, pode-se afirmar que a vibração está presente em diversas atividades e consiste no movimento de um corpo que oscila em torno do ponto de equilíbrio. Para demonstração deste movimento foram produzidos vídeos animados através do programa Adobe After Effects (AAE). Para análise dos vídeos produzidos, estes foram reproduzidos na sala de aula do tema de Vibrações Mecânicas da turma de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Concluiu-se que os vídeos representam o movimento das estruturas apresentadas durante a aula e que facilitaram o entendimento na prática do que é explicado na matéria.

**Palavras-Chave:** Vibração mecânica. Utilização de recursos visuais. Vídeos animados. Adobe After Effects. Novos meios de aprendizado.

## ABSTRACT

The use of the internet and new information and communication technologies has facilitated access to knowledge and stimulated the search for new ways of learning. Thus, the objective of this work is to use motion graphics to help the studies of mechanical vibrations. The assessment of the impact of the work consists of a qualitative and quantitative research, whose investigation technique will be the use of a questionnaire in the NPS format (Net Promoter Score). After the study carried out by several authors regarding mechanical vibrations, it can be said that vibration is present in several activities and consists of the movement of a body that oscillates around the equilibrium point. To demonstrate this movement, motion graphics were produced using the Adobe After Effects (AAE) program. To analyze the videos produced, they were reproduced in the Mechanical Vibrations classroom of the Civil Engineering class at the Federal University of Espírito Santo (UFES). The conclusion was that the videos were a good representation of the movement of the structures presented during the class and they facilitated the understanding in practice of what is explained in the subject.

**Keywords:** Mechanical vibration. Use of visual resources. Motion graphics. Adobe After Effects. New ways of learning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bombas, motores, correias e ventiladores vibrando. ....	11
Figura 2: Simplificação de um sistema com um grau de liberdade por um modelo de sistema massa-mola-amortecedor. ....	13
Figura 3: Diagrama do corpo livre da massa $m$ . ....	14
Figura 4: Demonstração de um motor em uma laje. ....	18
Figura 5: Eixos $y$ e $x$ na laje. ....	18
Figura 6: Deslocamento na direção do eixo $x$ (para a direita). ....	19
Figura 7: Deslocamento na direção do eixo $x$ (para a esquerda). ....	19
Figura 8: Motor em uma laje engastada com eixos $x$ e $y$ posicionados. ....	20
Figura 9: Deslocamento na direção do eixo $y$ (para cima). ....	21
Figura 10: Deslocamento na direção do eixo $y$ (para baixo). ....	21
Figura 11: Pórtico cisalhante com 4 (quatro) pavimentos em repouso. ....	22
Figura 12: Pórtico cisalhante com 4 (quatro) pavimentos em vibração horizontal. ....	23
Figura 13: Modelo de pórtico cisalhante com dois pavimentos. ....	24
Figura 15: Sistema massa-mola mostrando a posição $x = 0$ . ....	25
Figura 16: Sistema mola em movimento. ....	26
Figura 17: Força de tração representada no sistema massa-mola. ....	26
Figura 18: Força de tração e Segunda Lei de Newton representadas no sistema massa-mola. ....	27
Figura 19: Sistema mola com equação do movimento para sistemas em vibração livre sem amortecimento. ....	27
Figura 20: Mola indeformada. ....	28
Figura 21: Corpo em repouso com variação de elongação $\delta st$ . ....	29
Figura 22: Corpo em equilíbrio. ....	29
Figura 23: Diagrama do corpo livre no sistema massa-mola em vibração vertical. ....	30
Figura 24: Equação de equilíbrio da mola. ....	30
Figura 25: Posição 0 (zero) no eixo $x$ do sistema massa-mola em vibração vertical. ....	31
Figura 26: Círculo trigonométrico. ....	31
Figura 27: Círculo trigonométrico em sua posição inicial. ....	32
Figura 28: Círculo trigonométrico no primeiro quadrante. ....	33

Figura 29: Raio do círculo trigonométrico.....	34
Figura 30: Posição inicial do círculo trigonométrico com $\phi \neq 0$ .....	34
Figura 31: Círculo Trigonométrico com vetor de velocidade.....	35
Figura 32: Raio do círculo trigonométrico rotacionado. ....	35
Figura 33: Interface do Adobe After Effects. ....	36
Figura 34: Composição das cenas.....	37
Figura 35: Propriedades Adobe After Effects. ....	38
Figura 36: Interpolação Keyframes. ....	39
Figura 37: Deslocamento do objeto 540px.....	39
Figura 38: Graduação dos elementos. ....	40
Figura 39: Cálculo no NPS (Net Promoter Score). ....	43
Figura 40: Zonas de classificação do NPS.....	44
Figura 41: Análise do vídeo 1. ....	45
Figura 42: Análise do vídeo 2 e 3.....	45
Figura 43: Análise do vídeo 4 e 5.....	46
Figura 44: Análise do vídeo 6 e 7.....	47
Figura 45: Análise do vídeo 8. ....	47
Figura 46: Análise do vídeo 9. ....	48
Figura 47: Análise do vídeo 10. ....	49

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Classificação das vibrações com relação ao amortecimento e ao carregamento.....	15
Tabela 2: Zonas de classificação dos vídeos.....	49

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 Objetivo geral .....	9
1.2 Objetivos específicos .....	10
1.3 Justificativa .....	10
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
2.1 Vibrações Mecânicas.....	11
2.2 Sistema massa-mola-amortecedor .....	12
2.3 Equação do movimento.....	13
2.4 Tipos de vibração .....	15
<b>3 DESENVOLVIMENTO DOS VÍDEOS ANIMADOS.....</b>	<b>17</b>
3.1 Estrutura com um grau de liberdade em vibração na horizontal .....	17
3.2 Estrutura com um grau de liberdade em vibração na vertical .....	20
3.3 Estrutura com múltiplos graus de liberdade (pórtico cisalhante).....	21
3.4 Dedução da equação do movimento para sistema em vibração livre sem amortecimento .....	24
3.5 Posição da origem do eixo x para vibração livre na vertical sem amortecimento .....	28
3.6 Círculo Trigonométrico .....	31
3.7 Analogia entre uma partícula em rotação e a resposta de um sistema em vibração livre sem amortecimento .....	33
3.8 Animação no Adobe After Effects .....	36
3.8.1 <i>Visão geral do programa</i> .....	36
3.8.2 <i>Unidades de Medida</i> .....	37
3.8.3 <i>Propriedades</i> .....	37
3.8.4 <i>Interpolação de Keyframes</i> .....	38
3.8.5 <i>Expressões</i> .....	40
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISE DE IMPACTO .....</b>	<b>41</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>51</b>
5.1 Conclusões .....	51
5.2 Sugestões para trabalhos futuros .....	52
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de novas tecnologias da comunicação e da informação tem transformado o cotidiano das pessoas e facilitando o acesso ao conhecimento. O uso da internet tem estimulado, por exemplo, a busca de novos meios e recursos para aprimorar o processo de ensino e aprendizagem. Recursos estes que podem descomplicar matérias antes consideradas “bichos de sete cabeças” e torná-las de fácil assimilação. Diante disto, o objeto de estudo deste trabalho é apresentar uma metodologia de aprendizagem por meio de vídeos para o conteúdo de vibrações mecânicas.

Segundo Pereira (2020) as vibrações mecânicas estão presentes em muitas atividades humanas, por exemplo a respiração é associada a vibração dos pulmões, os batimentos cardíacos são movimentos de oscilação do coração. Dessa forma, o estudo de vibrações vem se desdobrando em inúmeras pesquisas e projetos.

Rao (2008) conceitua vibração como qualquer movimento que se repita dentro de um determinado período e a teoria da vibração como o estudo dos movimentos de oscilação e suas forças associadas. Ainda segundo o autor, um sistema vibratório envolve a transferência de energia potencial para energia cinética e de energia cinética para potencial. As vibrações podem ser classificadas por diversas maneiras como: vibração livre, a vibração forçada, vibração amortecida e vibração não amortecida. Contudo para este trabalho focaremos na vibração livre sem amortecimento e vibração forçada sem amortecimento.

Este trabalho, então, foi dividido em: o capítulo 2, uma base teórica das vibrações mecânicas e sua classificação; capítulo 3, encontra-se o desenvolvimento das animações, capítulo 4, a análise de impacto do projeto aplicado; e por fim, no capítulo 5, as considerações finais, com as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

### 1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho será revisar o assunto de vibrações mecânicas e produzir vídeos animados para utilização no aprendizado do tema em sala de aula.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o tema de vibrações mecânicas;
- Produzir vídeos animados explicativos;
- Aplicação das produções visuais nos estudos em sala de aula; e
- Análise do impacto da proposta.

## **1.3 Justificativa**

A justificativa do projeto parte da hipótese de que recursos visuais podem ser potencializadores do aprendizado em uma vasta gama de conteúdos da engenharia. A explicação da matéria de vibrações mecânicas, por exemplo, passa por muitas figuras e diagramas. Por conta disso, optou-se por analisar o impacto da aplicação destes recursos nesta matéria.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresentará uma revisão bibliográfica de vibrações mecânicas diante de visões de diferentes de autores, explicitando os tipos de vibração, a equação de movimento e o sistema massa-mola-amortecedor.

### 2.1 Vibrações Mecânicas

O interesse pela vibração mecânica iniciou com a descoberta dos primeiros instrumentos musicais e hoje tem sido utilizada na produção de máquinas, motores, componentes em computadores, entre outros equipamentos.

Segundo Beer e Johnston (2000, p. 1218), “uma vibração mecânica é o movimento de uma partícula ou de um corpo que oscila em torno de uma posição de equilíbrio”, ou ainda um movimento periódico gerado por uma força em torno de um ponto de equilíbrio como podemos visualizar na Figura 1. No contexto de estruturas, máquinas e afins, as vibrações normalmente são indesejadas, visto que são acompanhadas por aumentos de tensões e perda de energia. Portanto, elas devem ser eliminadas ou minimizadas sempre que possível.

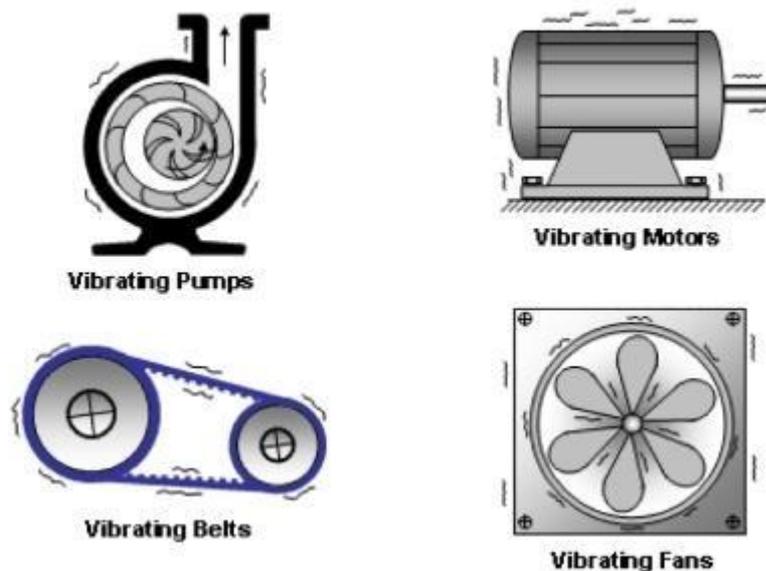


Figura 1: Bombas, motores, correias e ventiladores vibrando.

Fonte: Polymer Technologies Inc (INC, 2014).

Na engenharia, as vibrações são estudadas observando o deslocamento de pontos específicos em uma estrutura em função do tempo. Elas podem ter múltiplos

graus de liberdade, a depender do tipo de estrutura. Segundo Rao (2008), o grau de liberdade é dado por um número mínimo de coordenadas independentes que determinam a completa posição das partes de um sistema a qualquer momento. A nível de graduação, é estudado apenas vibrações com um grau de liberdade, visto que a análise com múltiplos graus é complexa e requer ferramentas matemáticas mais sofisticadas.

Beer e Johnston (2000) explicam que uma vibração mecânica geralmente é produzida quando um sistema é deslocado de uma posição de equilíbrio ou de origem. O sistema tende a retornar à posição atual sob ação de forças restauradoras (elásticas ou gravitacionais).

## **2.2 Sistema massa-mola-amortecedor**

A fim de simplificação para cálculos e estudos, os sistemas com um grau de liberdade podem ser representados por um sistema massa-mola-amortecedor, um modelo físico composto por uma mola ideal, com rigidez representada pela constante elástica  $k$  (expressa em unidade de força sobre unidade de distância), presa a um corpo de massa  $m$  e um amortecedor, com constante de amortecimento  $c$  (expressa em unidade de força sobre unidade de velocidade).

Segundo Camargo (2008), toda a massa do sistema é concentrada em um ponto, podendo apenas se deslocar na mesma direção do grau de liberdade permitido. A carga dinâmica atuante no sistema é representada pela função  $p(t)$  e é aplicada sobre a massa, na mesma direção do deslocamento, conforme a Figura 2.

Um conjunto de unidades comuns dentro do sistema internacional de unidades (SI) é o kN para o carregamento  $p(t)$ , kg para a massa  $m$ , kNs/m para o amortecimento  $c$  e kN/m para a rigidez  $k$ .

Neste sistema, a mola adquire energia potencial elástica quando esticada ou comprimida, e, quando solta, essa energia potencial é convertida em energia cinética. Ao atingir a posição original, depois de solta, a massa já possui certa velocidade, o que a faz ir além daquela posição. Este processo pode se repetir, mantendo um movimento oscilatório entre sua posição de equilíbrio.

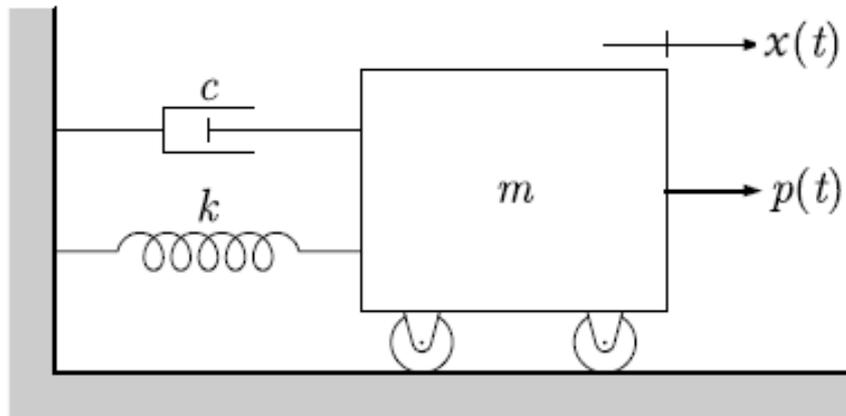


Figura 2: Simplificação de um sistema com um grau de liberdade por um modelo de sistema massa-mola-amortecedor.

Fonte: Adaptado de Camargo (2008).

Chamamos de período de vibração o tempo levado para um ciclo completo, frequência de vibração a quantidade de ciclos por um determinado e amplitude o deslocamento máximo a partir do ponto de origem.

### 2.3 Equação do movimento

Camargo (2008) explana que, para um sistema massa-mola-amortecedor, assume-se que a rigidez  $k$  segue a Lei de Hooke. Isso significa que a força responsável pelo deslocamento do sistema tem intensidade diretamente proporcional, mesma direção e sentido contrário ao mesmo. Isso pode ser expresso por meio da equação  $f_s = -kx(t)$  (Figura 3).

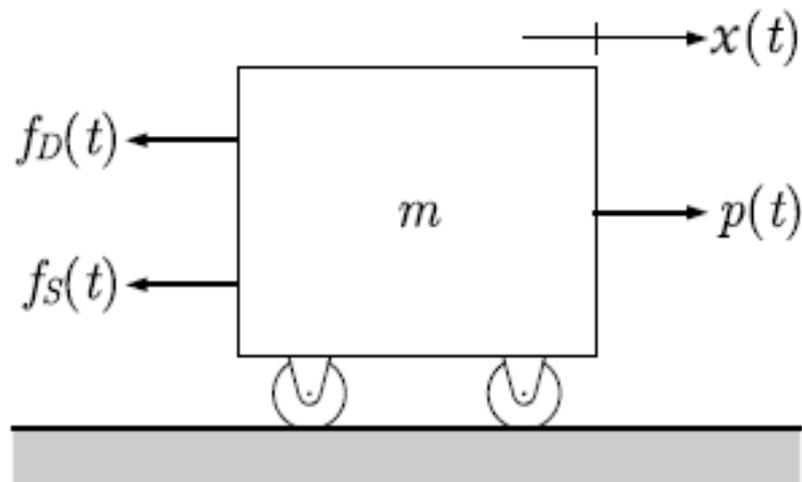


Figura 3: Diagrama do corpo livre da massa  $m$ .

Fonte: Adaptado de Camargo (2008).

Já o amortecimento do sistema é representado pela equação  $f_d = -cv(t)$ , em que  $c$  é a constante de amortecimento. Essa força de amortecimento  $f_d$  é diretamente proporcional ao módulo da velocidade  $v(t)$  do sistema, porém elas possuem sentidos opostos, retratado pelo sinal negativo. Esta força possui a mesma direção e sentido oposto à velocidade do sistema. O amortecimento é composto, de maneira aproximada, pelo atrito generalizado das partes internas do sistema combinado com o arraste com o meio (o ar, na maioria das vezes), no qual o sistema está imerso. Esse tipo de amortecimento é conhecido como amortecimento viscoso, causado pelo atrito natural com velocidades baixas e moderadas.

Aplicando a Segunda Lei de Newton ao diagrama do corpo livre da Figura 3, temos que

$$\Sigma F = ma(t)$$

$$p(t) + f_D(t) + f_s(t) = ma(t)$$

$$p(t) - cv(t) - kx(t) = ma(t)$$

Organizando os lados da equação, chega-se a *equação do movimento*

$$m\dot{v}(t) + cv(t) + kx(t) = p(t) \quad (1)$$

Como  $v(t)$  e  $a(t)$  são, respectivamente, a derivada primeira e a derivada segunda de  $x$  em função de  $t$ , a Equação 1 também pode ser reescrita na seguinte forma:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = p(t)$$

Esta é uma equação diferencial ordinária e sua solução é a soma de uma solução complementar (solução da equação homogênea equivalente  $m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = 0$ ) com uma solução particular, que depende da forma de  $p(t)$ .

## 2.4 Tipos de vibração

Os tipos de vibração são classificados de acordo com a existência da constante de amortecimento  $c$ , isto é, se o sistema é amortecido ou não amortecido e se possui uma força periódica  $p(t)$  sendo aplicada a ele ou não. Se  $p(t) = 0$ , o movimento é classificado como vibração livre. Se  $p(t) \neq 0$ , é classificado como vibração forçada. Assim, a classificação final de uma vibração é o resultado da combinação entre esses dois critérios, como mostra a Tabela 1.

	$p(t) = 0$	$p(t) \neq 0$
$c = 0$	Livre sem amortecimento	Forçada sem amortecimento
$c \neq 0$	Livre com amortecimento	Forçada com amortecimento

Tabela 1: Classificação das vibrações com relação ao amortecimento e ao carregamento.

Fonte: Autoria própria.

Um sistema em vibração livre, quando perturbado, tem sua vibração mantida permanentemente por conta própria, sem que haja uma forma externa, ou se mantém pelas forças restauradas. Já um sistema em vibração forçada é um sistema onde há o emprego de uma força externa periódica.

Uma vibração sem amortecimento ocorreria se nenhuma energia fosse perdida durante a oscilação ou quando os efeitos do atrito podem ser desprezados. Quando isso não acontece, a vibração possui amortecimento.

A equação do movimento é apresentada de sua forma completa apenas no caso em que  $p(t) \neq 0$  e  $c \neq 0$ , ou seja, na vibração forçada com amortecimento. Nos outros três tipos de vibração ela é reduzida, visto que pelo menos um entre  $p(t)$  e  $c$  será nulo.

Assim, a equação de vibração livre com amortecimento equivale à equação diferencial ordinária homogênea:

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

Enquanto a vibração forçada sem amortecimento possui a equação:

$$m\ddot{x}(t) + kx(t) = p(t).$$

Por fim, a equação de vibração livre sem amortecimento, com tanto  $p(t) = 0$  quanto  $c = 0$ , se reduz a:

$$m\ddot{x}(t) + kx(t) = 0$$

Em nível de graduação, são estudadas apenas as vibrações sem amortecimento, forçadas ou livres.

### 3 DESENVOLVIMENTO DOS VÍDEOS ANIMADOS

O intuito deste projeto é apresentar exemplos de vibrações com explicações dos cálculos utilizando os vídeos animados para confecção de vídeos animados demonstrando as vibrações. Os vídeos produzidos utilizando o software Adobe After Effects estão disponíveis em um canal da plataforma online (*YouTube*), onde os alunos poderão assistir.

Ao todo foram produzidos 10 (dez) vídeos animados sendo eles: Estrutura com um grau de liberdade em vibração na horizontal, Estrutura com um grau de liberdade em vibração na horizontal (com deslocamento), Estrutura com um grau de liberdade em vibração na vertical, Estrutura com um grau de liberdade em vibração na vertical (com deslocamento), Estrutura com múltiplos graus de liberdade (pórtico cisalhante), Dedução da equação do movimento para sistema em vibração livre sem amortecimento, Sistema massa-mola em vibração livre na horizontal sem amortecimento, Posição da origem do eixo x para vibração livre na vertical sem amortecimento, Círculo Trigonométrico e Analogia entre uma partícula em rotação e a resposta de um sistema em vibração livre sem amortecimento.

Após a divulgação desses vídeos aos alunos da disciplina de Vibrações Mecânicas, do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), foi solicitado o preenchimento de um questionário para análise da produção dos vídeos e o impacto causado nos alunos.

Dessa forma, as próximas seções deste trabalho apresentarão a explanação dos vídeos animados.

#### 3.1 Estrutura com um grau de liberdade em vibração na horizontal

O propósito desta animação é ilustrar um exemplo de estrutura real com um grau de liberdade em vibração na horizontal, apontando seu deslocamento principal, isto é, o seu único grau de liberdade.

A animação começa ilustrada por um motor (em azul) em cima de uma laje, conforme Figura 4. O motor foi desenhado de forma a ficar parecido com as ilustrações que o Professor Doutor Rodrigo Silveira Camargo utiliza ao lecionar a matéria.

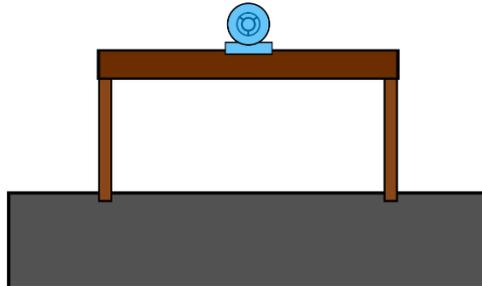


Figura 4: Demonstração de um motor em uma laje.

Fonte: Autoria própria.

Em seguida, surgem os eixos  $x$  e  $y$ , com sua origem na extremidade superior esquerda da laje (Figura 5). A origem dos eixos pode ser colocada em qualquer local, desde que sua posição seja respeitada nos cálculos de deslocamento.

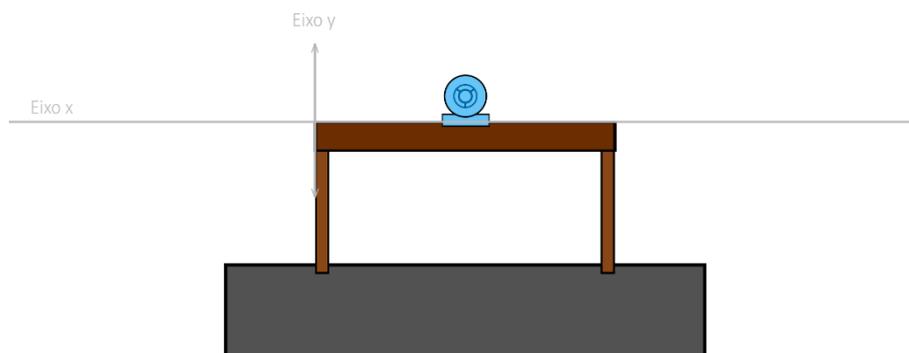


Figura 5: Eixos  $y$  e  $x$  na laje.

Fonte: Autoria própria.

Ao começar a vibrar, o motor desencadeia uma vibração horizontal em todo o sistema. Após alguns segundos de movimento, o deslocamento que essa vibração exerce no eixo horizontal ( $x$ ) é representado por uma seta vermelha. A seta varia de

tamanho e sentido conforme o deslocamento, conforme é mostrado nas Figuras 6 e 7.

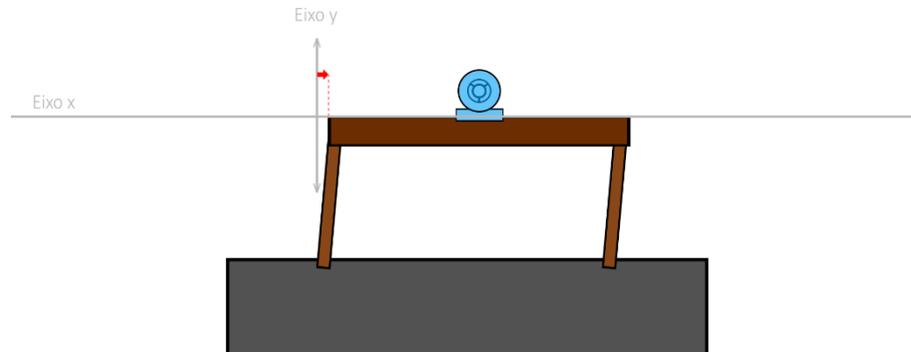


Figura 6: Deslocamento na direção do eixo x (para a direita).

Fonte: Autoria própria.

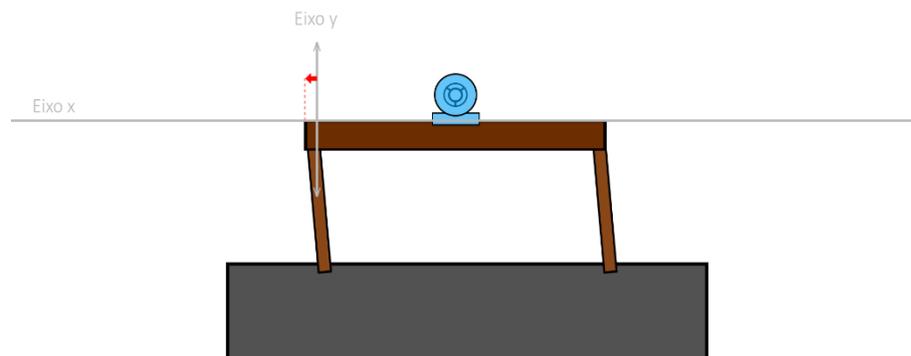


Figura 7: Deslocamento na direção do eixo x (para a esquerda).

Fonte: Autoria própria.

O vídeo em questão visa ilustrar uma vibração horizontal sem necessariamente determinar sua classificação. Portanto, este movimento pode ser caracterizado como uma vibração livre ou forçada, com amortecimento ou sem.

Também foi produzida uma variação do vídeo em que é mostrado apenas o movimento de vibração horizontal.

### 3.2 Estrutura com um grau de liberdade em vibração na vertical

Animação semelhante à anterior, porém retratando uma laje engastada dos dois lados para representação de uma vibração vertical. O propósito desta animação é ilustrar um exemplo de estrutura real com um grau de liberdade em vibração na vertical, apontando seu deslocamento principal, isto é, o seu único grau de liberdade.

A animação começa ilustrada pelo mesmo motor em azul em cima de uma laje. Em seguida, surgem os eixos y e x, onde o último tangencia a borda superior do motor, como podemos visualizar na Figura 8.

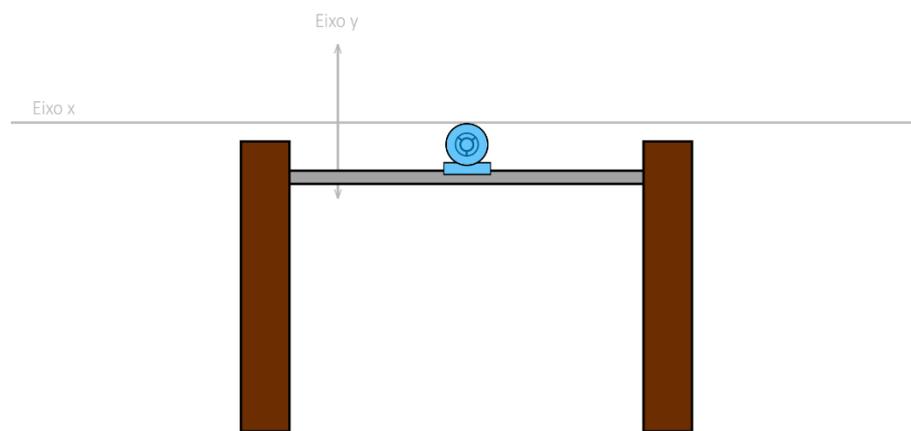


Figura 8: Motor em uma laje engastada com eixos x e y posicionados.

Fonte: Autoria própria.

Ao começar a vibrar, o motor desencadeia uma vibração vertical em todo o sistema. Após alguns segundos de movimento, o deslocamento que essa vibração exerce no eixo vertical (y) é representado por uma seta vermelha, conforme Figura 9 e Figura 10. Essa seta varia de tamanho e sentido conforme o deslocamento.

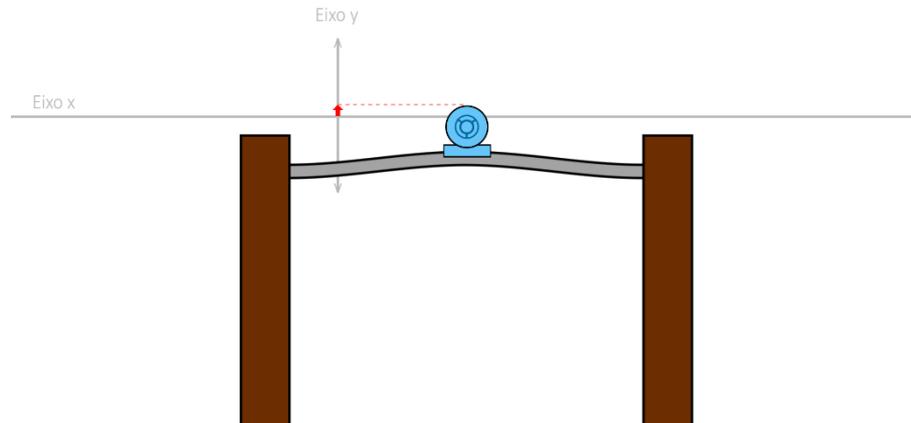


Figura 9: Deslocamento na direção do eixo y (para cima).

Fonte: Autoria própria.

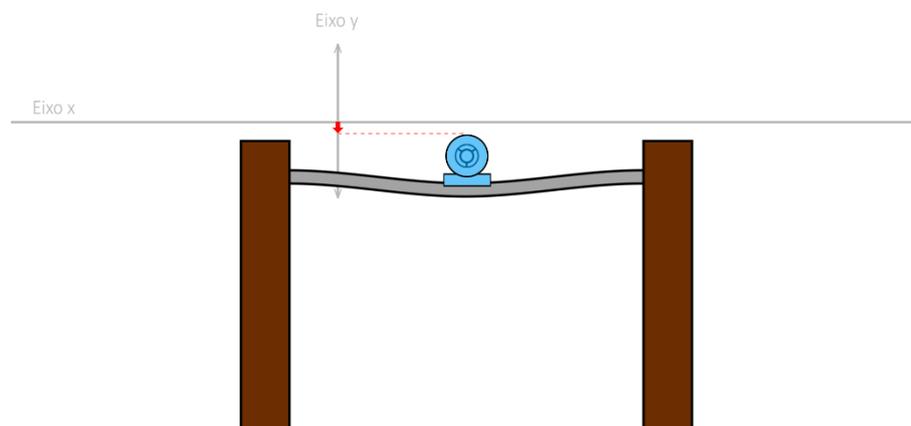


Figura 10: Deslocamento na direção do eixo y (para baixo).

Fonte: Autoria própria.

O vídeo em questão visa ilustrar uma vibração vertical sem necessariamente determinar sua classificação. Portanto, este movimento pode ser caracterizado como uma vibração livre ou forçada, com amortecimento ou sem.

Também foi produzida uma variação do vídeo em que é mostrado apenas o movimento de vibração vertical.

### 3.3 Estrutura com múltiplos graus de liberdade (pórtico cisalhante)

O propósito desta animação é demonstrar que o estudo de vibrações

mecânicas pode ser complexo, e em muitas estruturas reais envolve mais de um grau de liberdade, e que, nestes casos, o seu estudo não pode ser simplificado por um modelo que envolve apenas a movimentação de uma única massa ligada a uma única mola.

O modelo conhecido como Shear Building (nome em inglês), consiste em um pórtico cisalhante com vários pavimentos adotados para análise estrutural de carga dinâmica. No caso desta animação, foi feito um modelo com 4 (quatro) pavimentos, como mostra a Figura 11.

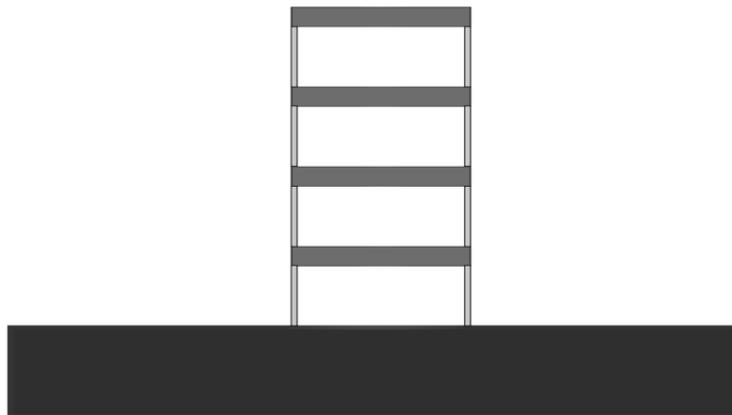


Figura 11: Pórtico cisalhante com 4 (quatro) pavimentos em repouso.

Fonte: Autoria própria.

Logo no início do vídeo, o pórtico cisalhante já começa a se movimentar. Suas lajes se deslocam na horizontal, de forma desordenada e caótica, conforme a Figura 12. Para fins didáticos, o deslocamento foi feito de forma exagerada. Este movimento pode ser causado por um terremoto, por exemplo.

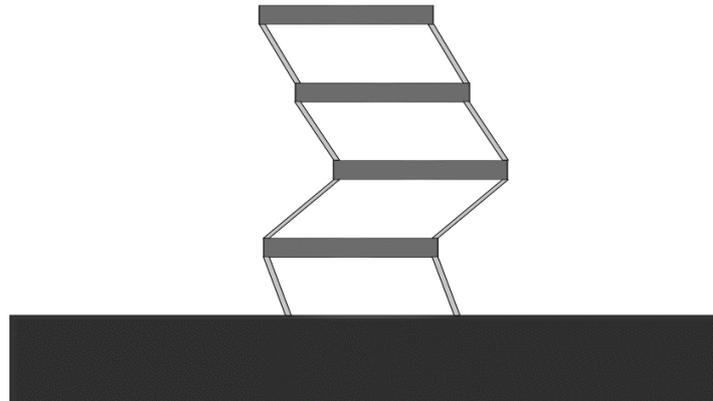


Figura 12: Pórtico cisalhante com 4 (quatro) pavimentos em vibração horizontal.

Fonte: Autoria própria.

Em uma situação real, é possível verificar que a massa do edifício é distribuída nos pavimentos construídos, dessa forma, o número de graus de liberdade consiste no número de pavimentos.

Por exemplo, em um modelo com dois pavimentos (conforme Figura 13) teremos a  $m_1$ ,  $m_2$  (massas de cada pavimento),  $k_1$  e  $k_2$  representando a rigidez das colunas,  $c_1$  e  $c_2$  os amortecimentos,  $u_1$  e  $u_2$  os deslocamentos causados por uma força chamada  $p(t)$ . A análise deste sistema resulta em uma equação do movimento em formato matricial, o que gera maior complexidade para o problema. No caso da Figura 13, um sistema com dois graus de liberdade terá duas frequências naturais.

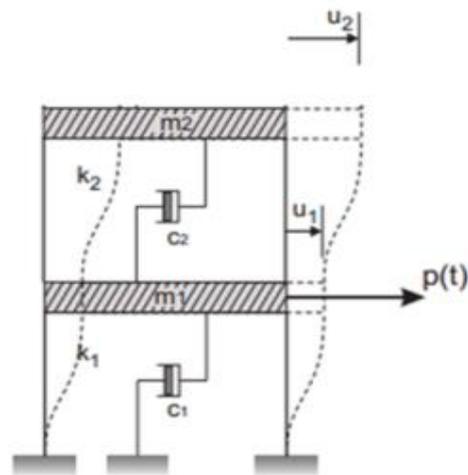


Figura 13: Modelo de pórtico cisalhante com dois pavimentos.

Fonte: Breda et al. (2017).

### 3.4 Dedução da equação do movimento para sistema em vibração livre sem amortecimento

O propósito desta animação é ilustrar a vibração livre na horizontal sem amortecimento com um sistema massa-mola e demonstrar a dedução da equação do movimento,  $m\ddot{x} + kx = 0$ .

O vídeo inicia com um corpo rígido de massa  $m$ , fixado em uma parede por uma mola elástica de rigidez  $k$ , como mostra a Figura 14.

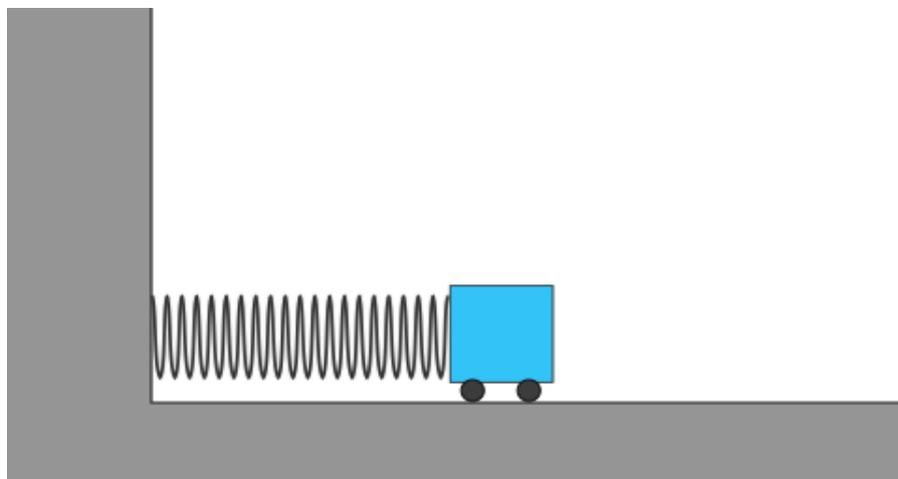


Figura 14: Sistema massa-mola fixado em uma parede.

Fonte: Autoria própria.

O sistema sai do repouso por conta uma perturbação inicial e começa um movimento de vibração horizontal. Logo em seguida, surge, em vermelho, o eixo  $x$  indicando a posição  $x = 0$  do sistema (Figura 15). O movimento possui apenas um grau de liberdade, na horizontal, e a vibração é classificada como livre e sem amortecimento.

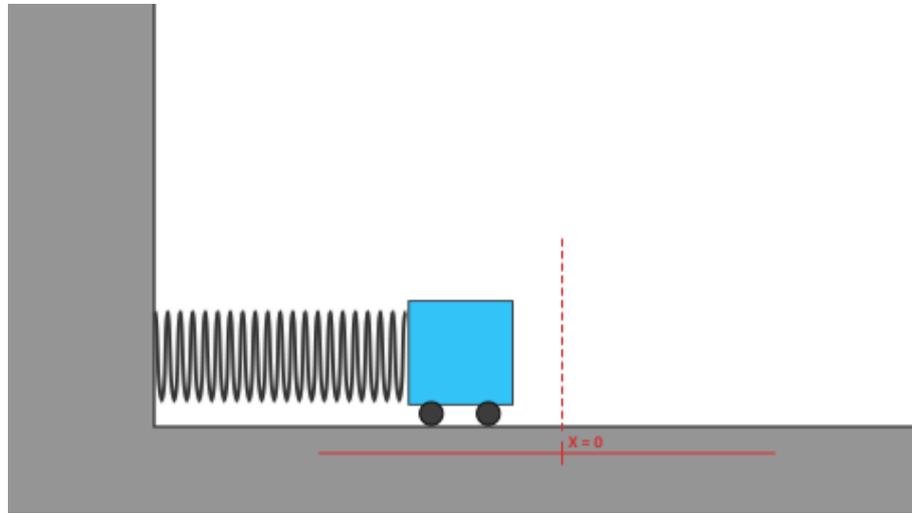


Figura 15: Sistema massa-mola mostrando a posição  $x = 0$ .

Fonte: Autoria própria.

Instantes depois (Figura 16), surgem também as marcações de  $x_m$  e  $-x_m$ , onde  $x_m$  é a amplitude máxima do deslocamento. Durante todo o movimento, a massa varia entre essas duas posições.

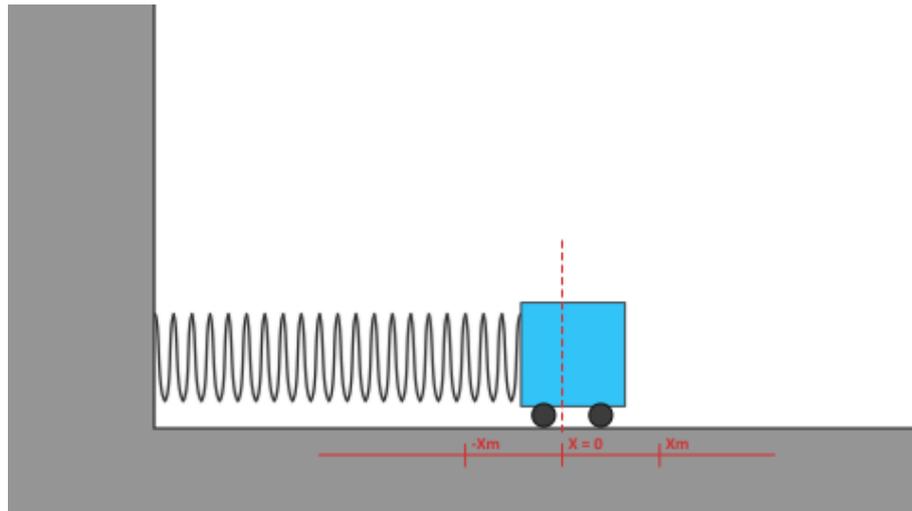


Figura 16: Sistema mola em movimento.

Fonte: Autoria própria.

Após alguns segundos de movimento, surge a equação  $T = -kx$  juntamente com uma seta laranja representando a força de tração que a mola exerce sobre a massa. A seta varia seu sentido conforme a mola vai sendo comprimida ou alongada, sempre contrário ao deslocamento. Em seguida, aparece um cronômetro indicando que a animação foi pausada e o movimento é cessado (Figura 17).

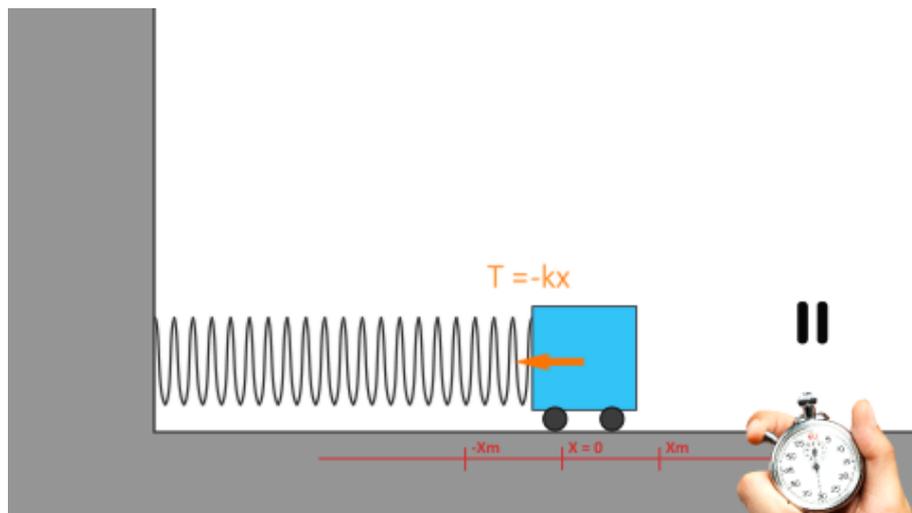


Figura 17: Força de tração representada no sistema massa-mola.

Fonte: Autoria própria.

Com o movimento pausado, surge a equação Segunda Lei de Newton  $F = ma$ , representada por uma seta azul, como podemos visualizar na Figura 18. O sentido da

seta (para a direita) é irrelevante, visto que o objetivo da animação é a dedução da equação do movimento.

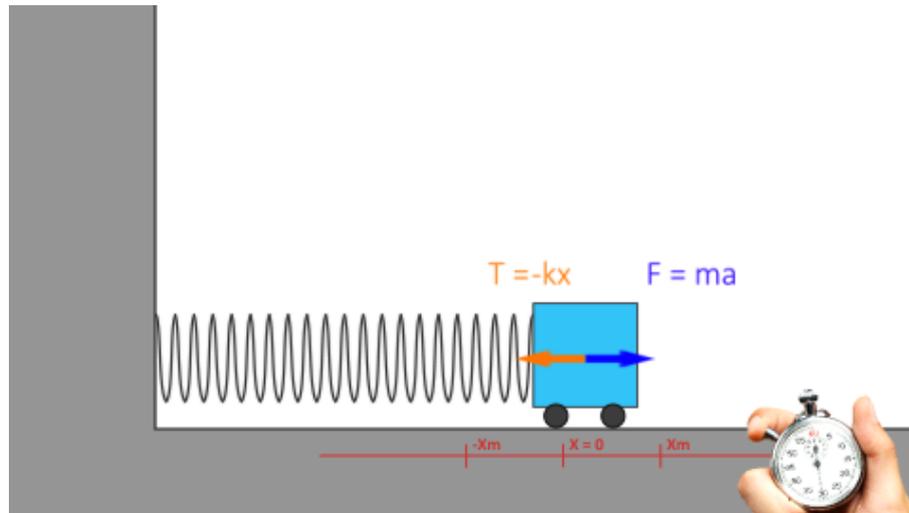


Figura 18: Força de tração e Segunda Lei de Newton representadas no sistema massa-mola.

Fonte: Autoria própria.

Para simbolizar que as forças foram igualadas, as equações se aproximam e as setas se anulam, obtendo  $-kx = ma$ . Após isso, o movimento é retomado enquanto os lados dessa equação são ajustados, chegando a  $kx + ma = 0$ . Esta equação também pode ser escrita da forma  $m\ddot{x} + kx = 0$ , como mostra a Figura 19.

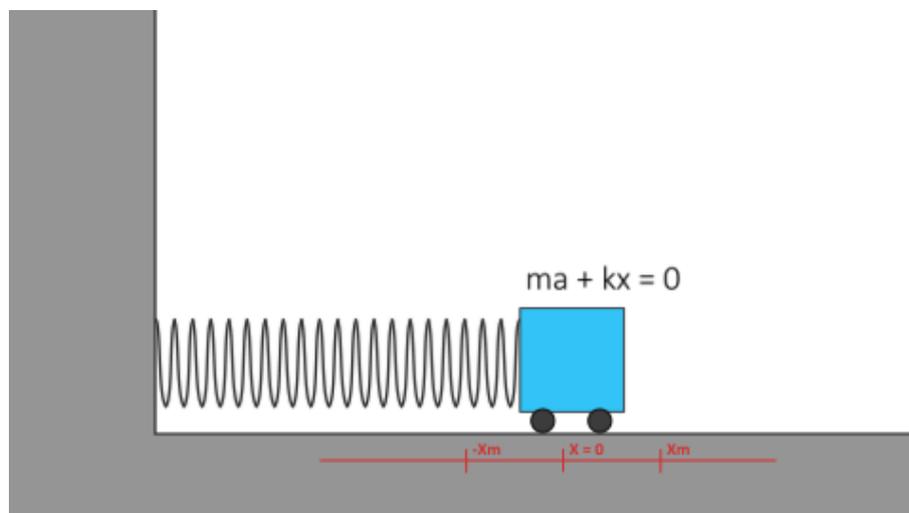


Figura 19: Sistema mola com equação do movimento para sistemas em vibração livre sem amortecimento.

Fonte: Autoria própria.

Também foi produzida uma variação do vídeo em que é mostrado apenas o movimento da massa-mola sem a dedução da equação.

### 3.5 Posição da origem do eixo $x$ para vibração livre na vertical sem amortecimento

O propósito desta animação é mostrar que, para um sistema em vibração na vertical, a posição da origem do eixo  $x$  deve estar na posição de equilíbrio entre a massa e a mola, e não na posição em que a mola está indeformada, como é o caso em que o sistema vibra na horizontal. Isso é necessário para que sistemas vibrando na horizontal ou na vertical sejam regidos pela mesma equação diferencial do movimento.

A animação inicia com uma mão sustentando um corpo  $m$  ligado a uma mola de constante  $k$ , fazendo com que a mola permaneça indeformada. Sua elongação inicial  $\delta_0$  é mostrada em vermelho, conforme a Figura 20.

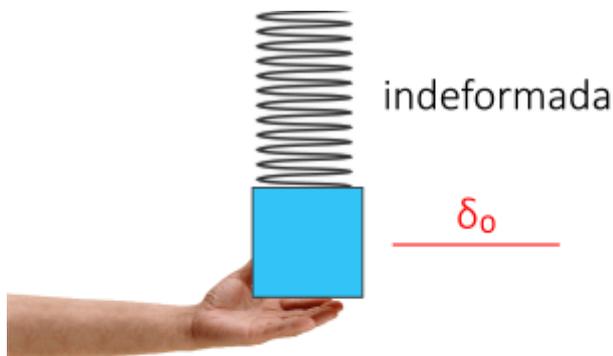


Figura 20: Mola indeformada.

Fonte: Autoria própria.

No momento que a mão libera o corpo, este sai do equilíbrio, se deslocando para baixo com a força gravitacional enquanto a mola é alongada. O movimento vibracional segue até o corpo entrar novamente em repouso – desta vez em uma nova posição do eixo  $x$  –, amortecido pela ação da gravidade. Esta nova posição  $\delta_1$  também é apontada em vermelho.

Em seguida, podemos verificar uma variação da elongação da mola, que vai de  $\delta_0$  até  $\delta_1$ . Essa variação é dada por  $\delta_{st}$  e também aparece em vermelho, conforme Figura 21.

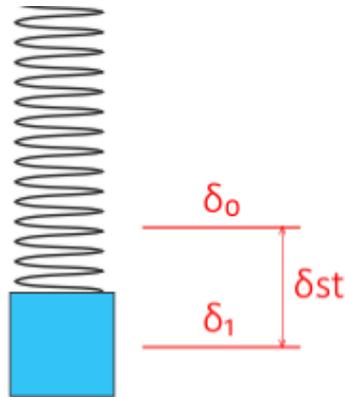


Figura 21: Corpo em repouso com variação de elongação  $\delta_{st}$ .

Fonte: Autoria própria.

Segundos depois, as posições  $\delta_0$  e  $\delta_1$  desaparecem da animação, dando espaço apenas para apenas a variação da elongação  $\delta_{st}$ . É indicado que o sistema está em equilíbrio.

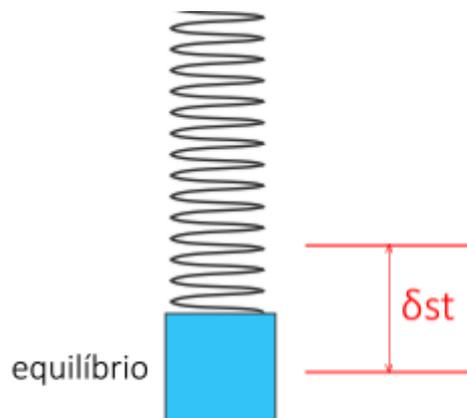


Figura 22: Corpo em equilíbrio.

Fonte: Autoria própria.

Quando o corpo permanece em equilíbrio estático, as forças que agem sobre ela são seu peso  $W = mg$  e força de tração  $T = k\delta_{st}$  exercida pela mola. Na animação, surgem tanto as equações quanto as setas para representar essas forças (Figura 23).

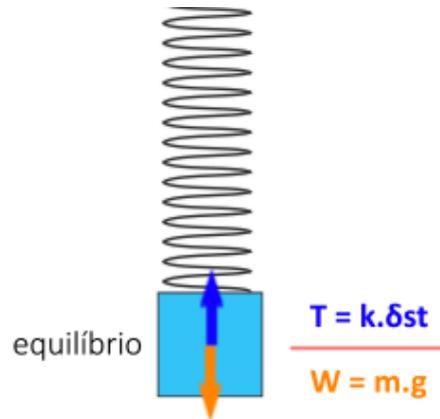


Figura 23: Diagrama do corpo livre no sistema massa-mola em vibração vertical.

Fonte: Autoria própria.

A animação se segue unindo as equações de peso e tração, simbolizando que estão sendo igualadas, resultando em  $k\delta_{st} = mg$ .

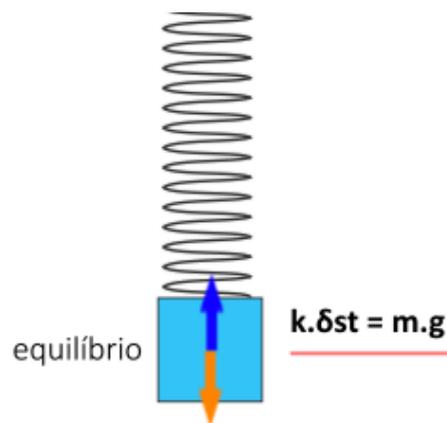


Figura 24: Equação de equilíbrio da mola.

Fonte: Autoria própria.

Finalmente, surge na animação o eixo  $x$  em verde, demonstrando onde fica a “posição 0” de equilíbrio (Figura 25). Se o sistema sofrer novamente uma perturbação, oscilará ao redor desta posição.

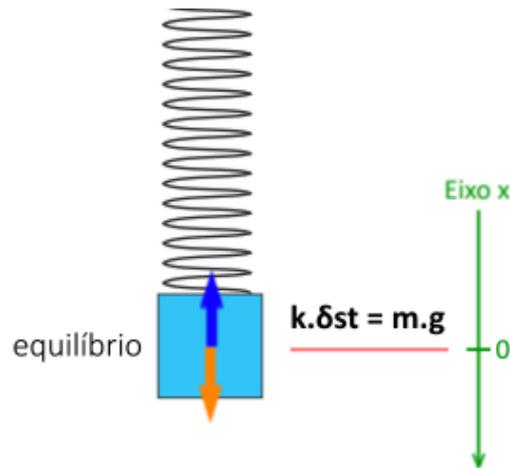


Figura 25: Posição 0 (zero) no eixo x do sistema massa-mola em vibração vertical.

Fonte: Autoria própria.

### 3.6 Círculo Trigonométrico

O propósito da animação é ilustrar um círculo trigonométrico em movimento, com variação linear do ângulo  $\alpha$  e começando de  $\alpha = 0$ . A intenção é destacar apenas a componente vertical do movimento de rotação do raio, dado pelo seno do ângulo  $\alpha$ .

Como podemos ver na Figura 26, a animação começa mostrando um círculo de *raio* = 1, um ângulo  $\alpha$  e seu seno, além do eixo x (com mínimo -1 e máximo +1) e o eixo tempo.

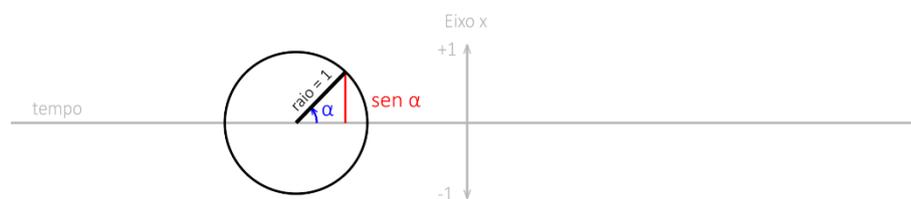


Figura 26: Círculo trigonométrico.

Fonte: Autoria própria.

Segundos depois, o texto “ $\text{sen } \alpha$ ” se desloca para a direita da imagem até se coincidir com o eixo x e desaparecer. O raio é rotacionado para a posição em que  $\alpha = 0$  e a animação fica conforme a Figura 27. Também surgem um texto que mostrará o valor de  $\alpha$  em tempo real e um círculo preto na posição 0 (zero) do eixo x, que representa o valor de  $\text{sen } \alpha$ .

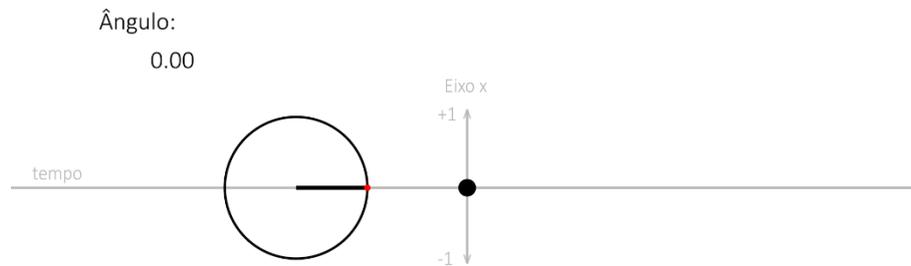


Figura 27: Círculo trigonométrico em sua posição inicial.

Fonte: Autoria própria.

Momentos após chegar nesta configuração inicial com  $\alpha = 0$ , o movimento do círculo trigonométrico se inicia, com o raio rotacionando no sentido anti-horário. O círculo preto sobre o eixo x parte de 0 e se desloca entre +1 e -1 em um movimento cíclico. Esse círculo preto deixa um “rastro” de seu movimento em relação ao tempo, formando uma onda senoidal.

O valor do ângulo  $\alpha$  é reiniciado sempre que o raio completa uma volta. Isso significa que  $\alpha$  varia entre 0 e  $360^\circ$ . Enquanto  $0 < \alpha < 180^\circ$ , o valor de  $\text{sen } \alpha$  será positivo e estará sendo formada uma crista na onda senoidal (Figura 28). Quando  $180^\circ < \alpha < 360^\circ$ ,  $\text{sen } \alpha$  será negativo e estará sendo formado um vale na onda senoidal.

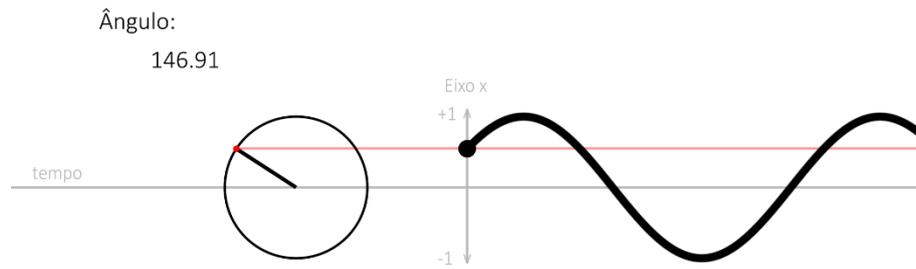


Figura 28: Círculo trigonométrico no primeiro quadrante.

Fonte: Autoria própria.

O movimento continua dessa forma por mais alguns segundos e a animação chega ao fim.

### **3.7 Analogia entre uma partícula em rotação e a resposta de um sistema em vibração livre sem amortecimento**

O propósito desta animação é mostrar como a resposta de um sistema em vibração livre sem amortecimento,  $x = x_m \text{sen}(\omega_n t + \phi)$ , pode ser entendida como a componente vertical da posição de uma partícula em movimento de rotação.

A animação começa mostrando o  $x_m$  como o raio do círculo trigonométrico, conforme Figura 29.

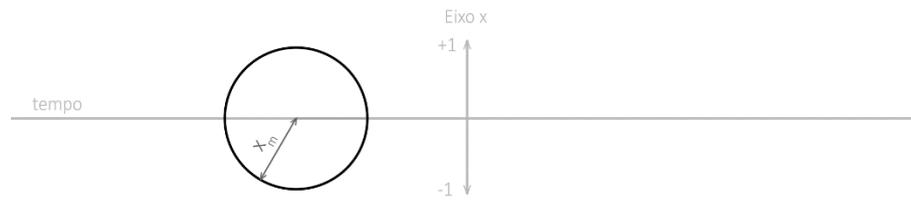


Figura 29: Raio do círculo trigonométrico.

Fonte: Autoria própria.

Após isso, uma linha preta que representa o raio surge e é levemente rotacionada no sentido anti-horário, dando espaço para um ângulo inicial  $\phi$  diferente de zero, que representa a posição inicial do movimento (Figura 30).

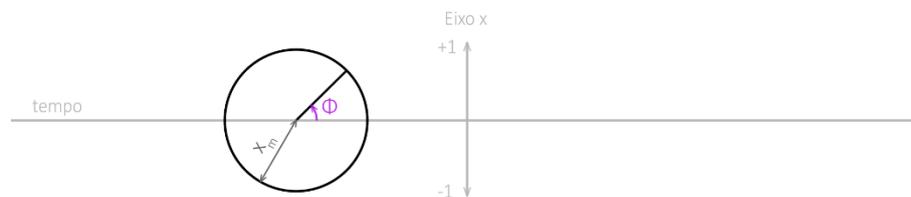


Figura 30: Posição inicial do círculo trigonométrico com  $\phi \neq 0$ .

Fonte: Autoria própria.

Momentos depois, um cronômetro surge para dar “play” no movimento, o raio de desloca mais um pouco e surge o produto  $\omega_n t$ , indicando um deslocamento angular linear, onde  $\omega_n$  é a velocidade angular e  $t$  é o tempo. Durante o movimento do raio, o seno que seu ângulo forma com a horizontal é representado por um círculo preto sobre

o eixo x. Também é formado o início de uma onda senoidal a partir do “rastros” do movimento do círculo preto. Por último, o cronômetro “pausa” a animação para ilustrar, em vermelho, o vetor da velocidade angular  $\omega_n$ , formando a Figura 31.

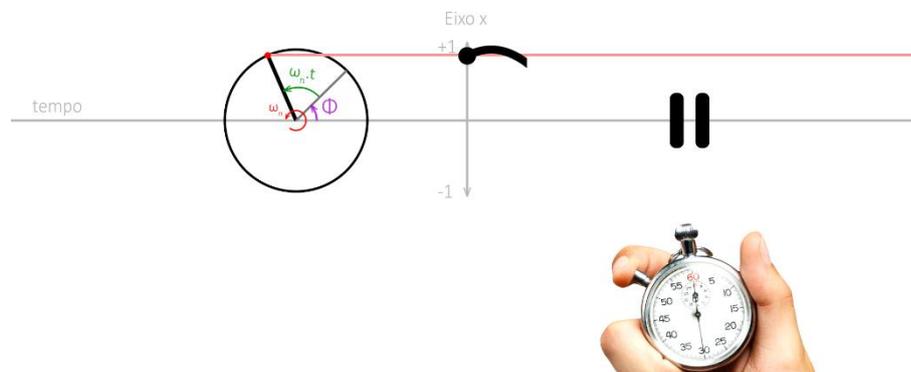


Figura 31: Círculo Trigonométrico com vetor de velocidade.

Fonte: Autoria própria.

Finalmente, o cronômetro volta a apertar “play” e movimento é iniciado com o raio do círculo rotacionando no sentido anti-horário e uma onda senoidal sendo formada, como podemos visualizar na Figura 32.

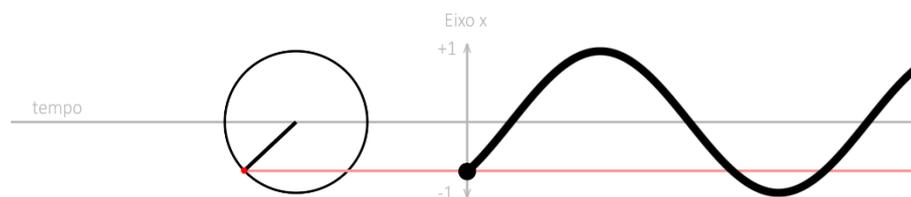


Figura 32: Raio do círculo trigonométrico rotacionado.

Fonte: Autoria própria.

### 3.8 Animação no Adobe After Effects

Para a produção de vídeos animados de vibrações disponibilizados no *YouTube* foi utilizado o programa Adobe After Effects (AAE), propriedade da empresa Adobe Systems, sendo usado em pós-produção de filmes para efeitos visuais, tratamento de imagens, bem como para realizar animações de personagens e animações gráficas no geral.

#### 3.8.1 Visão geral do programa

A interface do programa (Figura 33) tem quatro setores principais: projeto, composição, visualização da composição e linha do tempo.

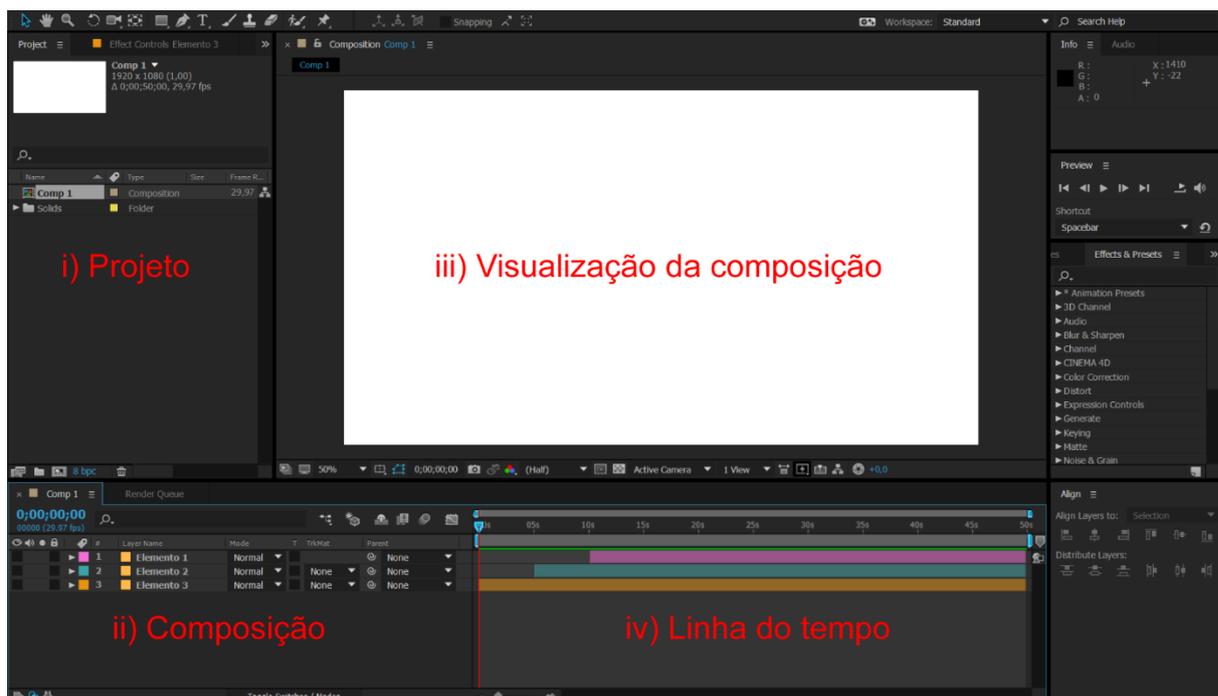


Figura 33: Interface do Adobe After Effects.

Fonte: Autoria própria.

O projeto consiste no local de importação dos elementos (ilustrações, fundos, fotos, vetores, etc.) a serem utilizados no projeto. É a partir dele que se adiciona os elementos às cenas (chamadas, pelo programa, de *composições*).

A composição é a área que contém os elementos adicionados às cenas e que é possível ter acesso às propriedades de cada elemento, como posição, rotação, opacidade, dentre várias outras que serão explicadas posteriormente.

Na visualização da composição é possível pré-visualizar o resultado do projeto. O que é mostrado no quadro branco é relativo ao momento apontado na agulha da linha do tempo.

O espaço onde é mostrado a “vida útil” de cada elemento em forma de barras consiste na linha do tempo. O início da barra representa a entrada do elemento na visualização da composição, e o fim, a saída. Dessa forma, é possível ordenar o aparecimento e desaparecimento de cada objeto do projeto, no momento desejado, como podemos verificar na Figura 34.

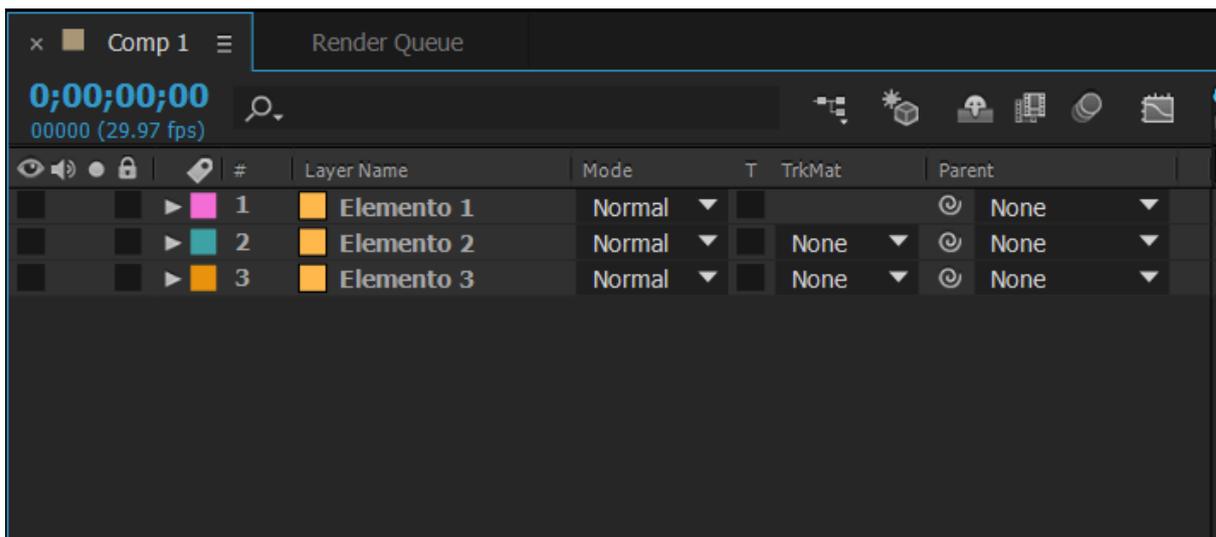


Figura 34: Composição das cenas.

Fonte: Autoria própria.

### 3.8.2 Unidades de Medida

Como trata-se de um projeto virtual, todo feito em um computador e para utilização em web e telas, as unidades de medida utilizadas não são convencionais. Assim, para distância utilizamos a unidade de medida pixels e para o tempo, segundos quanto frames (quadros).

Cada vídeo animado produzido é formado por vários quadros por segundo. Ao iniciar o projeto, escolheu-se nas configurações a taxa de frames de 30 frames/s. Isso significa que as animações são compostas de 30 quadros por segundo.

### 3.8.3 Propriedades

As propriedades do deste programa se baseia em: posição, rotação, opacidade e Escala, como podemos verificar na figura 35.

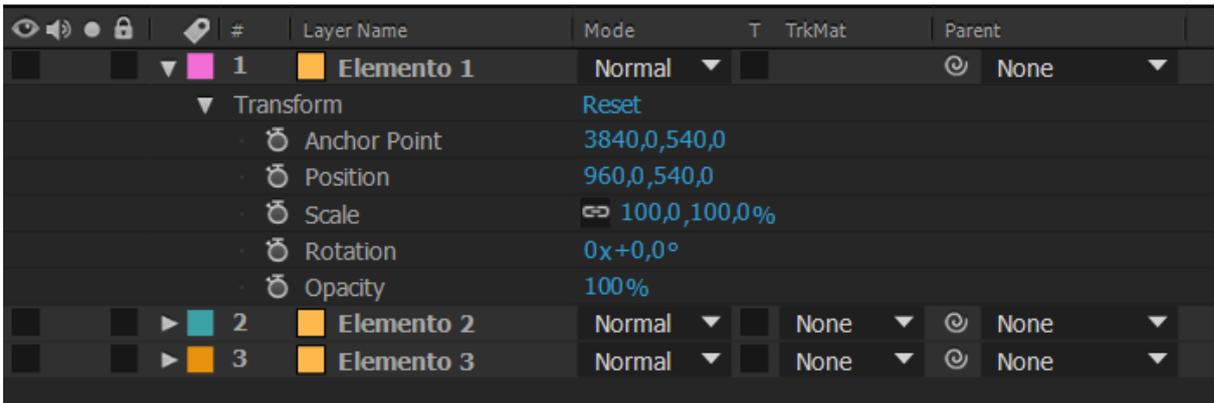


Figura 35: Propriedades Adobe After Effects.

Fonte: Autoria própria.

A Posição consiste em coordenadas cartesianas relativas à posição do elemento em relação ao projeto. Sua unidade de medida é o *pixel*. A rotação é o parâmetro que indica a rotação do objeto, no formato  $ax + c$ , onde  $a$  indica quantas voltas completas ( $360^\circ$ ) e  $c$  quantos graus ( $< 360^\circ$ ) o elemento está rotacionado em relação sua posição inicial. O sinal positivo indica uma rotação no sentido horário, enquanto o negativo, no sentido anti-horário.

A opacidade é o parâmetro que pode variar de 0%, quando o objeto se torna totalmente transparente e deixa de ser visível na composição, a 100%, quando o objeto é opaco e cobre todos outros elementos posicionados atrás dele na composição. Enquanto a escala também dado em porcentagem, em 100%, porém este parâmetro representa a escala original do objeto. Pode-se aumentá-la (para valores maiores que 100%) ou diminuí-la (para valores menores que 100%) de forma a manter a proporção entre a dimensão horizontal e vertical do elemento em questão, bem como é possível também alterar apenas uma destas dimensões.

### 3.8.4 Interpolação de Keyframes

Um *keyframe*, ou quadro-chave (em uma tradução literal), é a especificação do valor de alguma propriedade em determinado tempo do projeto. Definida pelo Guia de Usuário do After Effects produzido pela Adobe como “o processo de preencher dados desconhecidos entre dois valores conhecidos”, a interpolação entre dois *keyframes* é

responsável por animar qualquer propriedade de um elemento (Figura 36).

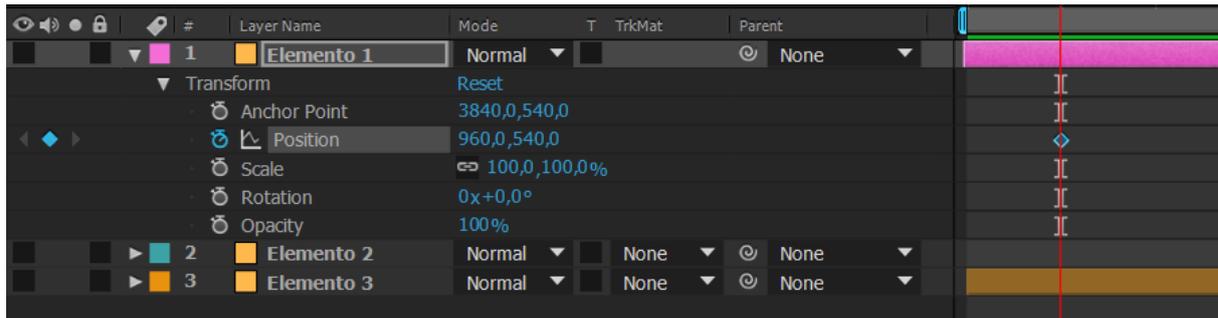


Figura 36: Interpolação Keyframes.

Fonte: Autoria própria.

A título de exemplificação, foi registrado um *keyframe*, na linha do tempo, com o valor de x da posição em 960px. Após ter avançado a agulha, na linha do tempo, foi registrado um segundo *keyframe*, com um novo valor de 1500px. Isso significa que, no período de tempo entre os *keyframes*, o objeto deslocou  $1500\text{px} - 960\text{px} = 540\text{px}$  com velocidade constante, conforme Figura 37.

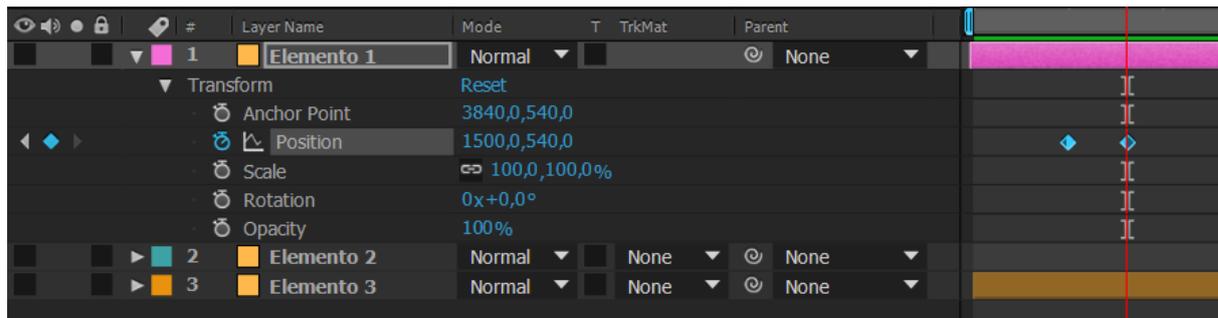


Figura 37: Deslocamento do objeto 540px.

Fonte: Autoria própria.

Além das animações por meio de *keyframes*, há a opção de utilizar expressões para animar uma propriedade de um elemento. As expressões seguem uma lógica de programação e garante um movimento mais preciso, visto que se pode utilizar funções para descrever o movimento. A maior parte das animações deste projeto de graduação foi realizada a partir das expressões.

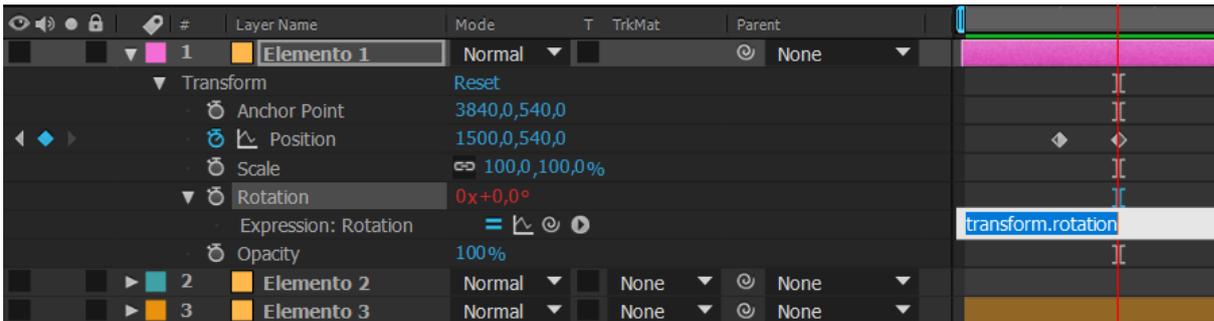


Figura 38: Graduação dos elementos.

Fonte: Autoria própria.

### 3.8.5 Expressões

As principais expressões utilizadas na animação dos elementos, juntamente com suas descrições, foram:

**time:** função que retorna o tempo atual da composição, em segundos. É indicada para animações de movimentos perpétuos;

**Math.PI:** função que retorna o valor matemático de pi;

**Math.sin(value):** função que retorna o seno do ângulo (em radianos) que estiver dentro dos parênteses;

**Math.cos(value):** função que retorna o cosseno do ângulo (em radianos) que estiver dentro dos parênteses;

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE DE IMPACTO

Trata-se de uma pesquisa qualitativa e quantitativa, com uso de revisão de literatura e um estudo de campo. Conforme Gil (2008), o estudo de campo consiste em um aprofundamento de uma realidade específica que será realizada por observações e entrevistas a fim de captar explicações e interpretações.

Quanto aos objetivos, a pesquisa será eminentemente descritiva e parcialmente exploratória. A pesquisa descritiva proporcionará uma nova visão sobre uma realidade existente e a pesquisa exploratória será necessário aprimorar as ideias e construir hipóteses para outros estudos (GIL, 2008).

Este trabalho também se baseia em uma pesquisa-ação, onde a realidade é alterada durante a pesquisa e uma pesquisa participante, onde haverá envolvimento dos pesquisadores durante o processo de pesquisa.

Para o delineamento da pesquisa, ou seja, o planejamento da pesquisa e a análise e interpretação dos dados foi utilizado a pesquisa bibliográfica, que consiste no estudo de um material já elaborado.

A técnica de investigação utilizou-se o questionário composto por questões a fim de obter informações do impacto dos vídeos explicativos produzidos pelo programa Adobe After Effects causaram nos estudantes.

Durante o projeto foram produzidos um total de 10 vídeos animados disponibilizados na plataforma do *youtube*. Sendo:

- Vídeo 1 - Sistema massa-mola em vibração livre na horizontal sem amortecimento, link de acesso:

<https://www.youtube.com/watch?v=7zFXawnjoFg>

- Vídeo 2 - Estrutura com grau de liberdade em vibração na horizontal, link de acesso:

<https://www.youtube.com/watch?v=LRjyf5VBCSU>

- Vídeo 3 - Estrutura com um grau de liberdade em vibração na horizontal (deslocamento), link de acesso:

<https://www.youtube.com/watch?v=EYJDfvdmsMA>

- Vídeo 4 - Estrutura com um grau de liberdade em vibração na vertical, link de acesso:

<https://www.youtube.com/watch?v=Q7JKOuGV7wk>

- Vídeo 5 - Estrutura com um grau de liberdade em vibração na vertical (deslocamento), link de acesso:

<https://www.youtube.com/watch?v=smbNK4HywrE>

- Vídeo 6 - Círculo Trigonométrico, link de acesso:

<https://www.youtube.com/watch?v=OOIgz01r6GQ>

- Vídeo 7 - Analogia entre uma partícula em rotação e resposta de um sistema em vibração livre sem amortecimento, link de acesso:

<https://www.youtube.com/watch?v=ttl2ByFTx0o>

- Vídeo 8 - Dedução da equação do movimento para sistema em vibração livre sem amortecimento, link de acesso:

<https://www.youtube.com/watch?v=MWiuFKRVfDA>

- Vídeo 9 - Posição da origem do eixo x para vibração livre na vertical sem amortecimento, link de acesso:

<https://www.youtube.com/watch?v=7z9aqp3f6v0>

- Vídeo 10 - Estrutura com múltiplos graus de liberdade (pórtico cisalhante), link de acesso:

<https://www.youtube.com/watch?v=vR3vUIz9QJY>

Os vídeos foram reproduzidos na aula da disciplina de Vibrações Mecânicas do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) dirigida pelo Professor Rodrigo Silveira Camargo, contendo 24 (vinte e quatro) alunos. Após a visualização foi aplicado um questionário no formato NPS (*Net Promoter Score*). O questionário apresentado possui 7 (sete) perguntas direcionadas a um ou dois vídeos complementares perguntando de 1 a 10, “o quanto o vídeo é recomendado para o aprendizado em vibrações mecânicas?”.

O NPS, criado em 2003 por Frederick F. Reichheld possui o objetivo de medir a satisfação dos clientes, por meio de uma pesquisa quanti-qualitativa. Segundo

Rodrigues (2021) é possível identificar a fidelidade e a satisfação através da fórmula da Figura 39.

$$NPS = \% \text{ de clientes promotores (notas 9 e 10)} - \% \text{ clientes detratores (notas de 1 a 6)}$$

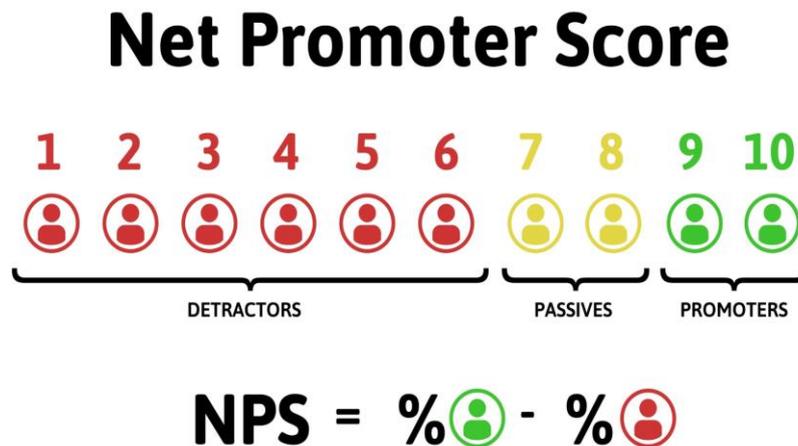


Figura 39: Cálculo no NPS (Net Promoter Score).

Fonte: Silva (2020).

No contexto deste trabalho, para um determinado vídeo, os alunos classificados como seus promotores são os alunos que deram nota 9 ou 10 para o vídeo. Eles consistem nos alunos satisfeitos e que possivelmente o recomendariam para outras pessoas.

Os alunos que derem a nota 7 ou 8 são classificados como passivos ou neutros e provavelmente não o recomendariam.

Já os alunos que derem uma nota entre 1 e 6 são considerados alunos detratores. Isso significa que eles ficaram não gostaram do vídeo e fariam propaganda negativa do mesmo.

Segundo Reichheld (2011) o NPS pode variar de -100 a 100 e suas zonas de classificação são descritas na Figura 40. Para NPS entre 75 e 100, o vídeo se enquadraria na melhor classificação possível, a zona de excelência. Para NPS entre 50 e 75, se enquadrariam como zona de qualidade. Para NPS entre 0 e 50, zona de

aperfeiçoamento. Finalmente, para NPS entre -100 e 0, zona crítica, indicando que o vídeo possui mais detratores do que promotores.



Figura 40: Zonas de classificação do NPS.

Fonte: QuestionPro (2).

As duas últimas perguntas da pesquisa se baseiam em perguntas qualitativas sobre a utilização dos vídeos no estudo da matéria e no que poderia melhorar. O questionário foi divulgado pelo *Google Forms* através do link <https://forms.gle/sJvXEW5UqbSeJWQY6>.

Os vídeos animados possuíram uma média de 17 visualizações e o questionário foi respondido por 15 alunos.

Na Figura 41 podemos avaliar as respostas dos alunos para o vídeo 01 - Sistema massa-mola em vibração na horizontal.

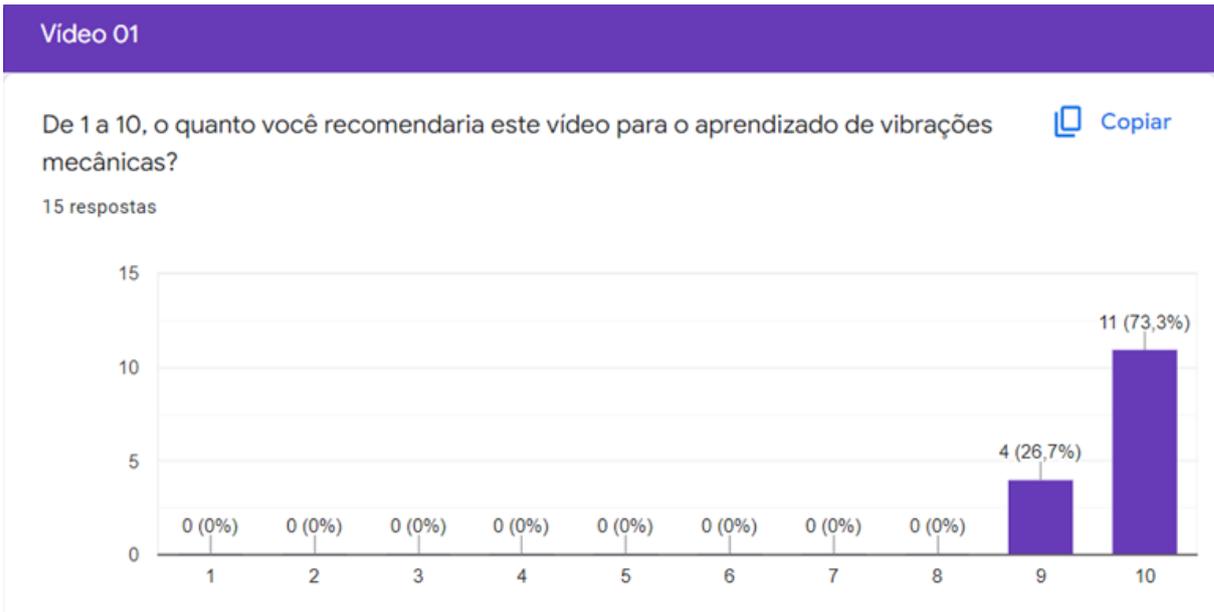


Figura 41: Análise do vídeo 1.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 42 temos as avaliações dos alunos a respeito do vídeo 2 - Estrutura com grau de liberdade em vibração na horizontal e vídeo 3 - Estrutura com um grau de liberdade em vibração na horizontal (deslocamento).

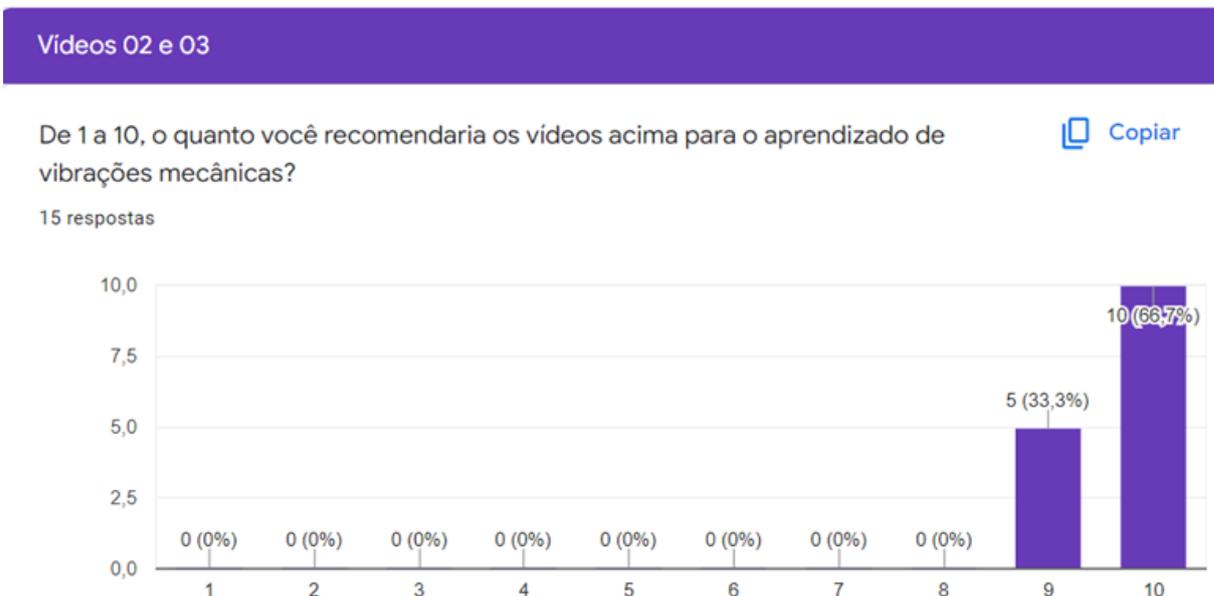


Figura 42: Análise do vídeo 2 e 3.

Fonte: Autoria própria.

Podemos analisar as respostas da recomendação do vídeo 4 - Estrutura com um grau de liberdade em vibração na vertical e do vídeo 5 - Estrutura com um grau de liberdade em vibração na vertical (deslocamento) na Figura 43.



Figura 43: Análise do vídeo 4 e 5.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 44 possuímos a análise do vídeo 6 - Círculo Trigonométrico e do vídeo 7 - Analogia entre uma partícula em rotação e resposta de um sistema em vibração livre sem amortecimento.

### Vídeos 06 e 07

De 1 a 10, o quanto você recomendaria os vídeos acima para o aprendizado de vibrações mecânicas?

 Copiar

15 respostas

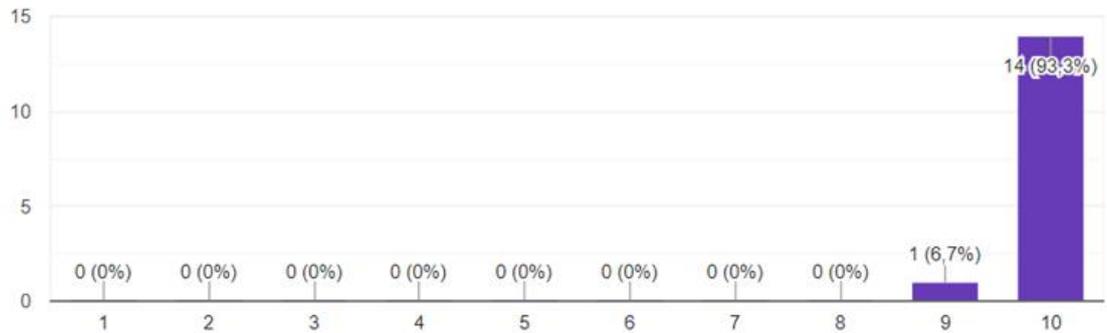


Figura 44: Análise do vídeo 6 e 7.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 45 traz as recomendações dos alunos sobre o vídeo 8 - Dedução da equação do movimento para sistema em vibração livre sem amortecimento.

### Vídeo 08

De 1 a 10, o quanto você recomendaria o vídeo acima para o aprendizado de vibrações mecânicas?

 Copiar

15 respostas

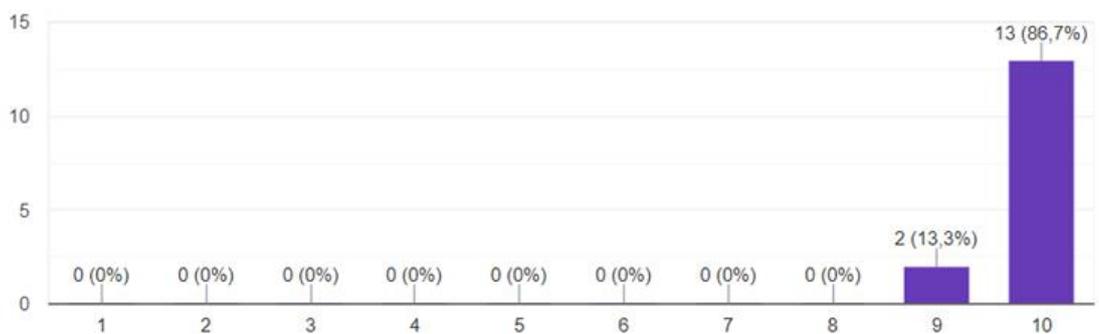


Figura 45: Análise do vídeo 8.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 46 apresenta os resultados do questionário a respeito do vídeo 9 - Posição da origem do eixo x para vibração livre na vertical sem amortecimento



Figura 46: Análise do vídeo 9.

Fonte: Autoria própria.

Podemos analisar as respostas da recomendação do vídeo 10 - Estrutura com múltiplos graus de liberdade (pórtico cisalhante) através da Figura 47.

Aplicando o cálculo do NPS sobre as notas dos vídeos acima, chegamos ao resultado da Tabela 2.

## Vídeo 10

De 1 a 10, o quanto você recomendaria o vídeo acima para o aprendizado de vibrações mecânicas?

 Copiar

15 respostas

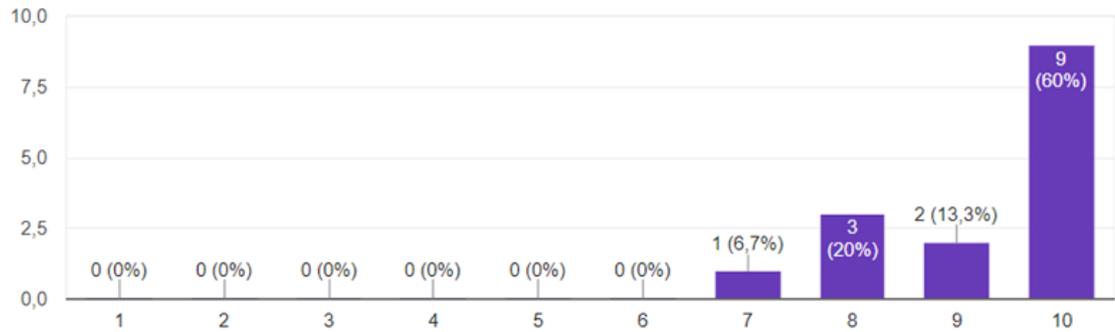


Figura 47: Análise do vídeo 10.

Fonte: Autoria própria.

Vídeos	% promotores	% detratores	NPS (de -100 a 100)	Zona de classificação
01	100%	0%	100	Zona de excelência
02 e 03	100%	0%	100	Zona de excelência
04 e 05	86,66%	0%	86,66	Zona de excelência
06 e 07	100%	0%	100	Zona de excelência
08	100%	0%	100	Zona de excelência
09	100%	0%	100	Zona de excelência
10	73,33%	0%	73,33	Zona de qualidade

Tabela 2: Zonas de classificação dos vídeos.

Fonte: Autoria própria.

Observamos que dos 7 (sete) conjuntos de vídeos, 6 foram classificados na zona de excelência do NPS e apenas 1 (um) – o vídeo “Estrutura com múltiplos graus de liberdade (pórtico cisalhante)” –, foi classificado na zona de qualidade do NPS. Ainda, é constatado que não obtivemos detratores em nenhum dos vídeos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentará as conclusões a respeito do projeto aplicado e as sugestões para novos trabalhos a respeito da utilização de recurso visual para aprendizado das vibrações mecânicas.

### 5.1 Conclusões

O objetivo geral deste trabalho foi utilizar os vídeos animados para auxiliar os estudos de vibrações mecânicas. Após análise do questionário aplicado, podemos afirmar que os alunos recomendam os vídeos para o estudo de vibrações e que os vídeos auxiliam na visualização dos movimentos.

O primeiro objetivo específico foi apresentar uma revisão bibliográfica do tema de vibrações mecânicas. Durante este trabalho houve diversas explanações a respeito das vibrações mecânicas, seu conceito e suas classificações, trazendo visões de diversos autores.

Outro objetivo específico foi de produzir vídeos animados explicativos por meio do que foi explicado no primeiro objetivo específico. Ao todo vimos a necessidade de produção de 10 (dez) vídeos para visualização de vibrações diferentes, sendo 2 (dois) complementares à vídeos já existentes, porém mostrando apenas a vibração (sem cálculos e diagramas).

Para produção da animação foi utilizado o programa do Adobe Systems, o Adobe After Effects (AAE), sendo necessário o entendimento de suas unidades de medida, suas propriedades, suas expressões e a interpolação de *keyframes*.

A aplicação das produções visuais nos estudos de vibrações mecânicas em sala de aula, terceiro objetivo específico, foi realizada juntamente com o Professor Doutor Rodrigo Silveira Camargo que realizou a divulgação dos vídeos e do questionário na turma dirigida pelo mesmo.

A análise do impacto da proposta consistiu no último objetivo específico. Nele foi possível verificar a opinião dos alunos sobre cada vídeo ou vídeo complementar. Observamos que em sua grande maioria os vídeos animados foram recomendados para utilização deste mecanismo na sala de aula. Visto que os mesmos apresentam um movimento de uma estrutura já apresentada anteriormente pelo Professor.

## 5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Após apresentação dos vídeos animados e aplicação do questionário identificamos que os próximos vídeos a serem produzidos poderão possuir uma explicação de cada acontecimento, ou seja, ter uma voz explicando com detalhes cada movimento (como uma narração) para aumentar ainda mais a compreensão por parte dos alunos.

Verificamos uma necessidade de melhorias do vídeo 10 - Estrutura com múltiplos graus de liberdade em vibração livre sem amortecimento (pórtico cisalhante), pois foi o vídeo que possuiu a menor classificação. Para melhorias neste vídeo sugerimos a inclusão da explicação do fenômeno durante a visualização do movimento, assim como nos outros vídeos.

Assim, sugerimos que os vídeos sejam apresentados para as próximas turmas da disciplina de vibrações mecânicas com a explanação do Professor a respeito de cada movimentação ocorrida durante a animação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R.; CORNWELL, P. J. **Mecânica vetorial para engenheiros: dinâmica**. – 9. ed. – Porto Alegre: AMGH, 2000.
- BREDA, J. C. O.; ROCHA, K. B.; BOLELLI, P. M. **Estudo da dinâmica em um pórtico com o auxílio do MATLAB**. São Paulo: Instituto Mauá de Tecnologia, 2017.
- CAMARGO, R. S. **Técnicas Eficientes de Correção de Erros na Análise Dinâmica de Estruturas no Domínio da Frequência**, 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6a . ed. São Paulo, Atlas, 2008.
- INC, P. T. **Shock & Vibration Isolation 101: Everything You Need to Know**. Nov. 2014. Disponível em: <<https://e77bf33537.nxcli.net/shock-vibration-isolation-101-everything-you-need-to-know/>>. Acesso em: 11 nov. 2021.
- PEREIRA, A. L. F. **Aplicação de Equações diferenciais no estudo de vibrações mecânicas**. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, Angicos, 2020. Disponível em: <[https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4990/1/AndreLFP\\_MONO.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4990/1/AndreLFP_MONO.pdf)>. Acesso em: 11 nov. 2021.
- QUESTIONPRO. **NPS - Net Promoter Score**. 2021. Disponível em: <<https://www.questionpro.com/pt-br/NPS.html>>. Acesso em 02 mar. 2022.
- RAO, S. **Vibrações Mecânicas**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- REICHHELD, F. **A pergunta Definitiva 2.0 - Como as empresas que utilizam o Net Promoter Score prosperam em um mundo voltado aos clientes**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2011.
- RODRIGUES, F.G.S. **Índice NPS: Um estudo de caso em uma empresa de telecomunicações**. 2021. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Ceará, Russas, 2021.
- SILVA, D. **O Guia do NPS: o que a Net Promoter Score tem a dizer sobre sua empresa?**. 2020. Disponível em: <<https://resultadosdigitais.com.br/marketing/o-que-e-nps/>>. Acesso em 02 mar. 2022.
- SILVA, S. **Vibrações Mecânicas**. Foz do Iguaçu, 2009. Disponível em: <<http://www.joinville.ifsc.edu.br/~pauloboni/MECANISMOS/DIN%C3%82MICA%20DE%20M%C3%81QUINAS/Apostila%20-%20Samuel%20da%20Silva%20-%20MUITO%20BOA%20-%20Did%C3%A1tica.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2021.