



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Vinicius Andre Guckert Marquez

**Uma Abordagem Microscópica da Tensão e Força Elástica por Meio dos Poderes do
Homem-Aranha**

Blumenau - SC
2021

Vinicius Andre Guckert Marquez

**Uma Abordagem Microscópica da Tensão e Força Elástica por Meio dos Poderes do
Homem-Aranha**

Dissertação ao Programa de Pós-Graduação da
Universidade Federal de Santa Catarina – Campus
Blumenau no curso de Mestrado Profissional em Ensino
de Física para obtenção do título de Mestre em Ensino de
Física.

Orientadora: Prof. Doutora Lara Fernandes dos Santos
Lavelli.

Blumenau - SC

2021

Ficha de identificação da obra

Marquez, Vinicius Andre Guckert

Uma Abordagem Microscópica Da Tensão E Força Elástica Por Meio Do Homem-Aranha / Vinicius Andre Guckert Marquez, Lara Fernandes dos Santos Lavelli ; orientador, Lara Fernandes dos Santos Lavelli, 2020.

48 p.

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Blumenau, 2020.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Ensino de Física. I. Lavelli, Lara Fernandes dos Santos. II. dos Santos Lavelli, Lara Fernandes . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. IV. Título.

Vinicius Andre Guckert Marquez

**Uma Abordagem Microscópica Da Tensão E Força Elástica Por Meio Do
Homem-Aranha**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^a. Dra. Lara Fernandes dos Santos Lavelli
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Lucas Natalio Chavero
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Eriton Rodrigo Botero
Instituição Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Dr.(a) Lara Fernandes dos Santos Lavelli
Orientadora

Blumenau, 2021.

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e aos meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

À minha família, meus pais, que sempre batalharam muito para me dar a melhor educação possível, abrindo mão de seus sonhos para a realização dos meus. A Minha irmã, pelo apoio, parceria e companheirismo. Vocês são meu exemplo e meu porto seguro.

A minha companheira de vida Eduarda Furlani Kresch, por todo incentivo, apoio e paciência. Você é o que me move a querer ser cada vez melhor. Sem você eu não teria conseguido.

À minha orientadora, Professora Dr.(a) Lara Fernandes dos Santos Lavelli, por quem eu tenho um profundo respeito e admiração. Obrigado por todos os ensinamentos, carinho, oportunidades, dedicação e tempo dispensado à minha formação profissional.

À coordenação do Colégio Universitário UNIDAVI e a todos os participantes da pesquisa que acolheram o projeto tão bem, de modo que eu me sentisse extremamente feliz. Obrigada por terem confiado e acreditado nessa proposta e pelo tempo e engajamento dispensados para essa pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) que apoiou e possibilitou o Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) – UFSC Blumenau.

À meu padrinho Francisco e minha Madrinha Jane que me acolheram em suas casas e me receberam tão bem nos dias em que estive em Blumenau.

Aos meus professores e colegas da Pós-Graduação pelo compartilhamento de conhecimentos, saberes e angústias. Durante o percurso muitos tornaram-se amigos especiais que serão levados por toda a vida.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para esse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Esta dissertação relata o desenvolvimento e a aplicação de um produto didático dedicado à abordagem dos conceitos de tensão e força elástica para o ensino médio, através de uma perspectiva microscópica. O produto é composto por uma sequência didática, fundamentada na teoria educacional Educação 4.0, e um material de apoio, sendo este formado por três videoaulas, um texto de apoio e um roteiro experimental. Utilizou-se o meio audiovisual para exposição do conteúdo didático, sendo contextualizado com uma temática própria do público-alvo: o Homem-Aranha. O super-herói entra no contexto do produto didático ao se aproximar o comportamento de sua teia à um modelo de molas, que é abordado de maneira microscópica, através de forças de atração e repulsão. Para se analisar e discutir a eficácia do produto, o mesmo foi aplicado, de maneira remota, em uma turma de primeiro ano do Ensino Médio do Colégio Universitário UNIDAVI, localizado em Rio do Sul – SC, levando duas semanas para a sua conclusão. Ao se analisar os resultados, constatou-se que o produto atingiu o seu objetivo, contribuindo para o aprendizado dos conceitos, além de despertar o interesse dos alunos pelos temas abordados. Por fim, destaca-se a importância do ensino contextualizado, criando laços emocionais entre alunos e conteúdo, gerando assim, um interesse maior pelos conceitos abordados nas aulas de física.

Palavras-chave: Ensino de Física. Educação 4.0. Força elástica. Tensão. Super-Heróis. Homem-Aranha.

ABSTRACT

This dissertation reports on the development and application of a didactic product dedicated to approaching the concepts of tension and elastic strength for high school, through a microscopic perspective. The product consists of a didactic sequence, based on the educational theory Educação 4.0, and a support material, which consists of three video classes, a support text and an experimental script. The audiovisual medium was used to expose the didactic content, being contextualized with a theme specific to the target audience: Spider-Man. The superhero enters the context of the didactic product when approaching the behavior of his web to a model of springs, which is approached in a microscopic way, through forces of attraction and repulsion. To analyze and discuss the product's effectiveness, it was applied remotely to a first-year high school class at Colégio Universitário UNIDAVI, located in Rio do Sul - SC, taking two weeks to complete. When analyzing the results, it was found that the product reached its objective, contributing to the learning of concepts, in addition to arousing students' interest in the topics covered. Finally, the importance of contextualized teaching is highlighted, creating emotional bonds between students and content, thus generating a greater interest in the concepts covered in physics classes.

Keywords: Physics teaching. Education 4.0. Tensile strength. Traction. Super heroes. Spider-Man.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da interação iônica	24
Figura 2 – Representação da ligação covalente.....	25
Figura 3– Representação da ligação metálica	26
Figura 4 – Representação da ligação entre um dipolo permanente e um dipolo induzido.	27
Figura 5 – Representação da ligação de Van der Waals em dipolos permanentes	28
Figura 6 - Repulsão eletromagnética devido ao Princípio de Exclusão de Pauli	29
Figura 7 – Gráfico da interação eletromagnética entre dois átomos em função da distância (R) entre eles.	31
Figura 8– Lei de Hooke.....	33
Figura 9 – Diagrama da força peso em uma placa pendurada por um fio inextensível.	34
Figura 11 – Diagrama de forças em uma placa pendurada por um fio inextensível. .	34
Figura 12 – <i>Print screen</i> da Videoaula 01.....	38
Figura 13 - <i>Print screen</i> dos exercícios 1 e 2.....	39
Figura 14 – <i>Print screen</i> da Videoaula 02 parte 01.....	40
Figura 15 - <i>Print screen</i> da Videoaula 02 parte 02	40
Figura 16 - <i>Print screen</i> dos exercícios 3.....	41
Figura 17 - <i>Print screen</i> dos exercícios 4, 5 e 6.....	42
Figura 18 – <i>Print screen</i> da tela inicial do simulador <i>Hooke's Law</i>	43
Figura 19 - <i>Print screen</i> do simulador <i>Hooke's Law</i>	44
Figura 20 - <i>Print screen</i> da tela inicial do simulador <i>Masses and Springs</i>	44
Figura 21 - <i>Print screen</i> do simulador <i>Masses and Springs</i>	45
Figura 22 - <i>Print screen</i> da Videoaula 02 parte 01	45
Figura 23 - <i>Print screen</i> da Videoaula 03 parte 02	46
Figura 24- <i>Print screen</i> da Videoaula 03 parte 03	46
Figura 25 – <i>Print screen</i> das questões 7 e 8 parte 01	47
Figura 26 - <i>Print screen</i> das questões 7 e 8 parte 01.....	48
Figura 27 – Representação gráfica da questão dois pelo grupo 7.	61
Figura 28 – Representação gráfica da questão dois pelo grupo 3	61
Figura 29 - Representação gráfica da questão dois pelo grupo 1	62

Figura 30 - Homem-Aranha (1).....9

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Esquematização da sequência didática recomendada para a aplicação....37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UNIDAVI Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

LISTA DE SÍMBOLOS

ε^4 Educação 4.0

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	O ENSINO DE FÍSICA E SUPER-HERÓIS	17
2.2	EDUCAÇÃO 4.0 ($\epsilon 4$)	19
3	FÍSICA ABORDADA: FORÇA ELÁSTICA E TENSÃO	23
3.1	INTERAÇÕES MOLECULARES	23
3.1.1	Ligações Primárias	23
3.1.2	Interações Secundárias (ou Ligação de Van der Waals)	26
3.1.3	Princípio de Exclusão de Pauli	28
3.2	A ORIGEM MICROSCÓPICA DA LEI DE HOOKE	30
3.3	TENSÃO.....	33
4	PRODUTO DIDÁTICO	36
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO	36
5	APLICAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO.....	49
5.1	REALIDADE DO LOCAL DE APLICAÇÃO	49
5.2	APLICAÇÃO MOMENTO A MOMENTO	50
5.2.1	Momento 01: Apresentação da proposta didática aos alunos	50
5.2.2	Momento 02: Indicação da Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica	50
5.2.3	Momento 03: feedback dos conceitos apresentados na Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica	51
5.2.4	Momento 04: Indicação da Videoaula 02 – Matematização da força elástica	52
5.2.5	Momento 05: feedback dos conceitos apresentados na Videoaula 02 – Matematização da força elástica	52
5.2.6	Momento 06: Roteiro experimental	53
5.2.7	Momento 07: Indicação da Videoaula 03 – Tensão	54

5.2.8	Momento 08: feedback dos conceitos apresentados Videoaula 03 – Tensão..	54
5.2.9	Momento 09: Socialização.....	55
5.2.9.1	<i>Grupo 1.....</i>	55
5.2.9.2	<i>Grupo 2.....</i>	56
5.2.9.3	<i>Grupo 3.....</i>	57
5.2.9.4	<i>Grupo 4.....</i>	57
5.2.9.5	<i>Grupo 5.....</i>	58
5.2.9.6	<i>Grupo 6.....</i>	58
5.2.9.7	<i>Grupo 7.....</i>	59
6	DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	60
6.1	QUESTÕES 1 E 2	60
6.2	QUESTÕES 3, 4, 5 E 6	62
6.3	ROTEIRO EXPERIMENTAL	63
6.4	QUESTÕES 7 E 8	64
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
	REFERÊNCIAS.....	67
	APÊNDICE A – PRODUTDO DIDÁTICO	68
	ANEXO A – EXERCÍCIOS APLICADOS	104
	ANEXO B – ROTEIRO EXPERIMENTAL.....	107

1 INTRODUÇÃO

Por meio da revisão bibliográfica sobre o ensino de física, no período de 2006 a 2012, ficou evidente que o método tradicional de lecionar Física traz pouca relação com o cotidiano do estudante, sendo engessado, extremamente matemático e, inúmeras vezes, monótono, gerando uma falta de interesse do aluno. Autores como Oliveira (2006), Silva (2012), Barja e Redígolo (2005) e Efthimiou (2004) dão alguns exemplos desse panorama, todos eles iniciam seus trabalhos a partir dessa análise.

Sabendo da existência dessa barreira no processo de ensino-aprendizagem de Física se faz necessária a criação de estratégias para fazer com que o conteúdo fique mais próximo da realidade do aluno, mais interessante e divertido, sem ficar simplório, fazendo florescer um interesse pela Física no estudante e, assim, quebrar essas barreiras.

A ideia de utilizar heróis no Ensino de Física pode parecer pouco atrativa no começo, mas esse é um tema que está presente na mente dos adolescentes como evidenciam os autores Oliveira (2006), Barja e Redígolo (2005). Outro ponto que corrobora essa ideia é o constante aumento da quantidade de bilheterias dos filmes envolvendo os super-heróis, fazendo com que grande parte da população passasse a ter um herói favorito.

Sabendo dos obstáculos presentes no Ensino de Física e da capacidade de suscitar interesse nos alunos que os super-heróis apresentam, foi decidido criar um produto didático que utiliza o Homem-Aranha como pano de fundo para apresentar e estudar os conceitos de força elástica e tensão, buscando motivar os alunos a estudar Física de uma maneira mais descontraída e bem-humorada, já que as histórias de super-heróis podem ser um veículo de divulgação científica.

Foi escolhida uma abordagem microscópica para a explicação dos conceitos de força elástica e tensão, pois acredita-se que entender a origem e os porquês do movimento da mola é o caminho lógico, chegando ao ponto de facilitar a compreensão significativa para o aluno, pois além de compreender o comportamento de corpos elásticos, os estudantes saberão o porquê dos corpos com elasticidade possuírem esse comportamento.

Por conta de o mundo estar passando por uma pandemia, causada pelo covid-19, se optou por uma teoria de ensino-aprendizagem que não tradicional, que possibilitasse uma aplicação a distância e buscasse fazer algo diferente do ensino tradicional de física. Sabendo disso, se escolheu a teoria educacional chamada de Educação 4.0 (ε^4). A ε^4 foi escrita e

pensada pelo Doutor Cassiano Zeferino de Carvalho Neto no livro Educação 4.0: Princípios e práticas de inovação em gestão e docência. Essa teoria educacional possui como base 4 pilares fundamentais (contextualização, problematização, interação e socialização), temas que serão abordados ao longo dessa dissertação.

A presente dissertação vem relatar a produção e aplicação de um produto didático que consiste em uma sequência didática é um material de apoio desenvolvido como produto final do curso de Mestrado em Ensino de Física pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Campus Blumenau.

A sequência didática é fundamentada na Educação 4.0 e o material de apoio consiste em três videoaulas temáticas, um texto de apoio que sempre utiliza o super-herói Homem-Aranha como pano de fundo para explicar os conceitos de tensão e força elástica, além de um roteiro de relatório semiestruturado. Toda essa produção busca auxiliar o docente na aplicação da sequência didática, facilitando o planejamento e garantindo uma reprodução do processo aplicado nesta dissertação.

O capítulo 2 desta dissertação apresenta o que já foi estudado na área de Ensino de Física através de uma revisão bibliográfica de trabalhos anteriores que utilizam os super-heróis nas aulas de Física, além de apresentar a metodologia utilizada na aplicação do produto didático. O capítulo 3 é uma seção exclusiva para a apresentação dos conceitos físicos que serão abordados no produto. O desenvolvimento e a caracterização do produto didático são discutidos no capítulo 4. O capítulo 5 é dedicado ao relato da aplicação do produto didático, com a análise dos resultados obtidos da aplicação sendo abordada no capítulo 6. Por fim, no capítulo 7 são feitas as considerações finais, contendo um panorama geral do trabalho, confrontando os resultados esperados inicialmente com os resultados obtidos pela aplicação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo dedica-se a revisão bibliográfica, sendo apresentados os estudos anteriores que envolvem a relação entre o ensino de física e os super-heróis, além de apresentar a teoria de educação que foi utilizada como fundamentação teórica para o desenvolvimento e concepção do produto didático.

2.1 O ENSINO DE FÍSICA E SUPER-HERÓIS

A escolha de super-heróis para explicar os conceitos de física vem do fato de que os filmes que abordam esse tema estão em evidência nos dias atuais, como mostra as bilheterias dessa categoria de filmes. Os filmes de super-heróis, geralmente, são *blockbusters* (“arrasa-quarteirão”). Isto significa filmes com orçamentos gigantescos e com enormes bilheterias, portanto, populares e presentes na atual lista das dez maiores bilheterias do mundo (IMDB, 2018b).

Ao analisarmos as franquias com maior sucesso de bilheterias, a popularidade dos filmes de super-heróis fica mais evidente ainda, fato que demonstra a presença do gênero no cotidiano do público estudantil. O Universo Cinematográfico da Marvel tem a maior bilheteria do mundo, passando dos 12 bilhões de dólares com 16 filmes lançados até agora (GAGLIONI, 2017a). Além da Marvel, existem mais três franquias de filmes de super-heróis entre as dez maiores, são elas: X-Men; do estúdio Fox; Batman; da Waner Bros; e Homem-Aranha, da Columbia Pictures (IMDB, 2018a).

O gênero de super-heróis é algo tão aclamado atualmente que quanto mais filmes são lançados, mais pessoas aderem a esse gênero cinematográfico. Um exemplo disto é o filme “Os Vingadores: Ultimato”, que arrecadou uma bilheteria de 2,797 bilhões de dólares, sendo a maior da história do cinema mundial (OMELETE, 2020). Já no Brasil, o mesmo filme arrecadou nada menos do que 85,4 milhões de dólares, batendo recordes de bilheteria brasileira. Esse fato demonstra que os super-heróis podem despertar um maior interesse na aula, potencializando o processo de ensino-aprendizagem.

Dentre todos os super-heróis presentes nos quadrinhos e no cinema, existem aqueles que têm um maior potencial para serem utilizados no Ensino de Física, seja por uma maior identificação dos estudantes ou pelos poderes e capacidades. O herói que mais se aproxima dos

dois aspectos citados anteriormente é o Homem-Aranha, pois quando falamos de identificação dos alunos pelo super-herói temos que:

Por se tratar de um super-herói adolescente, tímido, com espinhas no rosto e um ótimo senso de humor, a identificação dos adolescentes com o Homem-Aranha, desde a época das histórias em quadrinhos até sua versão para o cinema, é um fato marcante (OLIVEIRA, 2006, p. 83).

Os aspectos que causam a identificação dos estudantes pelo Homem-Aranha não são comuns em outros personagens, como Batman e Homem de Ferro, por serem bilionários, realidade social que é distante da maior parte da população mundial, ou o Superman que tem poderes comparados a de um deus, fugindo muito da realidade.

Além da identificação com o super-herói, os poderes e habilidades do Homem-Aranha são mais facilmente adaptados para o Ensino de Física, como para a aplicação e elaboração de problemas de Mecânica Clássica ou como objeto de interdisciplinaridade com outras ciências (BARJA; REDÍGOLO, 2005).

Gonzaga (2014) utilizou conceitos de massa, peso e tensão para analisar e calcular se a teia do Homem-Aranha suportaria o herói em um movimento de pêndulo, dando um exemplo de como é fácil relacionar esse super-herói com os conceitos de Física, mostrando que até além da parte conceitual do fenômeno, a matematização pode ser explorada.

Barja e Redígolo (2005) expõe outra situação em que a Física pode ser utilizada para explicar a morte de Gwen Stacy (primeira namorada de Peter Parker, que é a identidade secreta do Homem-Aranha). Esse trabalho não dá exemplo da aplicação da Física no acontecimento, porém, o livro *The Physics of Superheroes* (JAMES, 2005) aplica a 2ª Lei de Newton e o conceito de Impulso para analisar se a morte do personagem faz sentido físico.

Gonzaga (2014) traz a mesma situação, morte de Gwen Stacy, mas utilizando conceitos de energia potencial e cinética para explicar a situação:

Entendendo (ou não) que, se atingisse a água, a energia cinética no corpo de Stacy seria toda transferida para esta, que lhe responderia com grande força (3ª Lei de Newton), o Homem-Aranha lançou sua teia, interrompendo a queda. Porém, o super-herói ficou chocado quando, ao trazê-la de volta, percebeu que ela estava morta (GONZAGA, 2014, p. 11).

Oliveira (2006) utiliza cenas do filme Homem-Aranha (2002) para analisar erros e acertos sobre os conceitos de inércia. Uma das cenas analisadas pelo autor traz o herói em perseguição a um bandido. Durante a perseguição o Homem-Aranha está sobre um caminhão em movimento. Ao seu lado está um carro, também em movimento, tendo o mesmo sentido e direção em relação ao caminhão.

Considerando que o Homem-Aranha possui a mesma velocidade do veículo, por uma questão de inércia o herói, para retornar ao caminhão após saltar, deveria apenas pular verticalmente para cima, e não se impulsionar diagonalmente para frente [...] (OLIVEIRA, 2006, p. 80).

Além da análise dessa cena, Oliveira (2006) utilizou outras duas sequências do filme. A primeira para comparar o movimento do Homem-Aranha, quando está pendurado em sua teia, com o movimento de um pêndulo. A segunda cena é utilizada para abordar o conceito de queda livre.

A revisão bibliográfica feita nos trabalhos de Barja e Redígolo (2005), Efthimiou e Llewellyn (2004), Gonzaga et al. (2014), James (2005), Oliveira (2005), Oliveira (2006) e Silva (2012) mostraram que inúmeros conceitos de Física podem ser explorados utilizando o Homem-Aranha. No entanto, ressalta-se que todos os trabalhos analisados até o momento apenas utilizaram o super-herói para aplicar a Física e não para explicar os conceitos a partir dele.

2.2 EDUCAÇÃO 4.0 (ϵ^4)

As metodologias mais tradicionais são, no geral, centradas no professor, o transformando no diretor, produtor, roteirista e ator principal da sala de aula. Neste cenário, os alunos comportam-se como meros espectadores no processo de ensino-aprendizagem. Esses métodos tradicionais apresentam uma baixa eficiência de aprendizado (OLIVEIRA; ARAUJO; VEIT, 2016), fazendo com que os alunos não tenham interesse pelo conteúdo apresentado, gerando reprovações e desistências.

Com esse panorama em vista escolheu-se utilizar uma metodologia ativa de ensino para buscar uma proposta que melhorasse o processo de ensino-aprendizagem nas escolas de educação básica, fazendo com que o aluno deixe de ser o espectador e se torne o ator principal desse processo.

A teoria de ensino escolhida para a aplicação do produto didático é a Educação 4.0 (ϵ^4), que é uma teoria de gestão e docência que, segundo Carvalho Neto (2019), se baseia em 4 pilares centrais na parte de docência: Contextualização, Problematização, Interação e Socialização.

Algo que deve ser explicitado é o fato de que essa teoria seja de gestão e docência, a parte de gestão não será abordada ao longo do trabalho, pois ela não compete a parte de aplicação do produto, dos planejamentos e das aulas, ficando o foco apenas para a parte de docência da teoria.

A educação 4.0 é concebida pensando em um problema central: como as pessoas aprendem?

Do ponto de vista estritamente teórico este problema não apresenta respostas simples, e uma das principais razões disso reside no fato de que para bem situá-lo e compreendê-lo é preciso considerar as amplas referências que se faz no âmbito da cultura e como ela contribui para a formação de perfil de aprendizagem, de forma inseparavelmente imbricada à dimensão biológica de cada um, enfim, aquilo que nos torna humanos. Além disso, o fato histórico-temporal que caracteriza cada contexto social em sua época também se constitui em uma variável a ser considerada, o que torna o problema ainda mais complexo. (CARVALHO NETO, 2019, p. 221)

E como resposta para a pergunta, Carvalho Neto (2019), apresenta os passos de contextualização, problematização, interação e socialização, 4 pilares centrais que podem ser estudados separadamente, mas durante a docência, podem se misturar, envolver e estarem juntos em uma mesma ação didática.

A contextualização é a apresentação do processo de ensino-aprendizagem da ϵ^4 , sendo que e nela deve se expor, de modo geral, o que será estudado ao longo do percurso e segundo Carvalho Neto (2019) é muito importante que essa apresentação seja feita de uma maneira que o aluno se sinta envolvido emocionalmente com o tema, pois dessa maneira os alunos se interessam cognitivamente, algo que é extremamente necessário para o início do processo de ensino aprendizagem.

Por contextualização consiste se entende que para haver um adequado disparo do processo cognitivo é preciso que haja, antes, um envolvimento emocional proporcional à interação entre os interlocutores presentes na relação de ensino-

aprendizagem, estejam eles interagindo face a face ou mediante a canais de comunicação remota ou híbrida. (CARVALHO NETO, 2019, p. 229)

Ao final da contextualização, a problematização deve aparecer através de problemas que sejam desafiadores e estejam ligados com o emocional do estudante, pois a produção do conhecimento está intimamente ligada à resolução de problemas. Carvalho Neto (2019) cita que a resolução de problemas permite o aluno desenvolver competências e habilidades, registrando as informações em mídias, por meio do conhecimento explícito.

Algo muito importante em relação a problematização é que ela deve ser derivada da contextualização, mas deve apresentar um problema que desafie e instigue o aluno, pois isso gera um maior afincamento no estudante para buscar a resolução do problema.

A interação e a socialização aparecem juntas, sendo definidas pela Educação 4.0 como “A atividade da pessoa sobre o objeto de conhecimento” (CARVALHO NETO, 2019, p. 226). A interação e a socialização são, de maneira direta, a sequência da problematização, pois, o aluno deve resolver os problemas de maneira contextualizada e socializada. Na teoria de Educação 4.0 “A produção de conhecimento e sua socialização pressupõe a interatividade entre sujeito e objeto e sujeito-sujeito e, por essa razão, deve ser considerado na perspectiva de um processo construtivista na visão epistemológica que o sustenta.” (CARVALHO NETO, 2019, p. 226), mostrando que a interação deve ocorrer tanto entre o aluno e o objeto de conhecimento, quanto entre alunos.

Por fim, essa teoria de aprendizagem, no âmbito da docência, fala da aplicação das aulas e que essa aplicação não é necessariamente de maneira presencial. Ela pode ser feita tanto de maneira híbrida (partes presenciais, partes virtuais), quanto totalmente de maneira virtual, através de ferramentas como smartphones, computadores, softwares entre outros. A Educação 4.0 entende que a aula pode acontecer em qualquer lugar, desde que apresente as condições necessárias para que isso ocorra, além de incentivar a utilização de ferramentas tecnológicas, pois:

[...] busca-se estabelecer relação com o fato de que as tecnologias digitais da comunicação e informação criam formas de socialização distribuídas na internet e, portanto, de possibilidades de ensino-aprendizagem potencialmente relevantes. (CARVALHO NETO, 2019, p. 167)

Carvalho Neto (2019) ainda ressalta que as ferramentas tecnológicas não devem ser apenas utilizadas para a exposição tradicional do conteúdo, essa relação deve ser vivencial, podendo ser utilizada para que o conhecimento possa ser registrado e compartilhado através de fotos, vídeos, podcast, simuladores e outras formas tecnológicas, pois todas elas podem estar a serviço da educação.

Os objetos educacionais digitais, que são as ferramentas tecnológicas quando aplicadas na educação, possuem vantagens, pois elas podem ser atualizadas com facilidade, podem ser customizadas e são bastante flexíveis. Essas vantagens foram fundamentais na escolha da ϵ^4 , pois elas possibilitaram a aplicação do produto didático de maneira remota, validando o planejamento necessário durante o isolamento social, causado pela pandemia.

3 FÍSICA ABORDADA: FORÇA ELÁSTICA E TENSÃO

O produto didático desenvolvido neste trabalho tem a proposta de abordar conceitos de força elástica e tensão. A elasticidade dos corpos e a maneira com que eles respondem às forças mecânicas externas compõem o que conhecemos como propriedades mecânicas. Plasticidade, dureza, resiliência, ductilidade e tenacidade são exemplos de outras propriedades mecânicas que os materiais possuem. Assim como as propriedades elétricas, térmicas, magnéticas e ópticas, as propriedades mecânicas consistem em fenômenos macroscópicos que têm origem microscópica, sendo assim influenciadas pela maneira com que os átomos ou moléculas que compõem o material interagem entre si. Neste capítulo serão discutidas as principais interações moleculares e a relação dessas com a Lei de Hooke.

3.1 INTERAÇÕES MOLECULARES

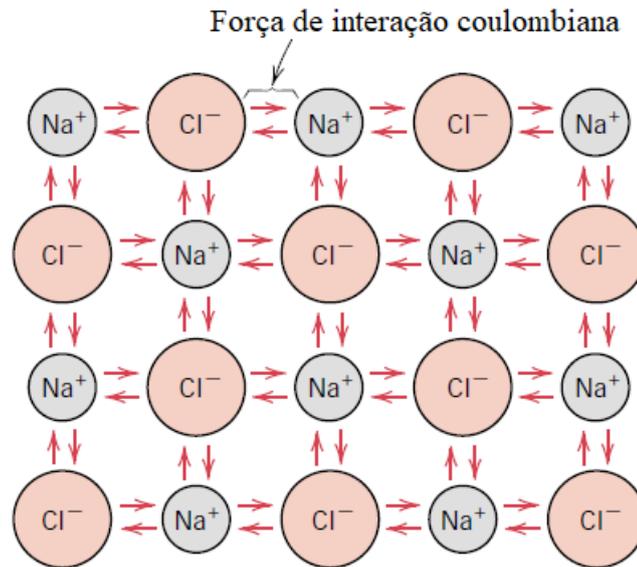
As interações moleculares são de extremo interesse para a compreensão de diversos fenômenos físicos do nosso cotidiano, fornecendo respostas às perguntas relacionadas a como os corpos se formam e interagem com o meio.

As ligações intermoleculares podem ser classificadas como primárias ou secundárias, de acordo com a energia de ligação. As ligações primárias resultam em interações mais fortes, com energias de ligação da ordem de 1 eV . Dentre as ligações primárias tem-se a ligação iônica, a ligação covalente e a ligação metálica. Já as ligações secundárias, também conhecidas como interações de Van der Waals, resultam em interações relativamente mais fracas, da ordem de 0.1 eV .

3.1.1 Ligações Primárias

A ligação iônica é considerada a mais simples de se entender, pois ela se refere a uma atração eletrostática entre íons de cargas diferentes. Um exemplo é o sal de cozinha (NaCl) onde os íons de sódio (Na^+), que possuem carga positiva, interagem com os íons de cloreto (Cl^-), que possuem carga elétrica negativa, gerando uma força eletrostática de atração, como representa a figura abaixo:

Figura 1 – Representação da interação iônica da molécula NaCl



Fonte: Callister (2011, p. 21), adaptado pelo autor.

Essas forças de atração possuem origem coulombiana, devido a um íon possuir natureza positiva e o outro negativa, gerando assim, uma força de atração entre si. A energia de atração interatômica (E_A) da ligação iônica é descrita por:

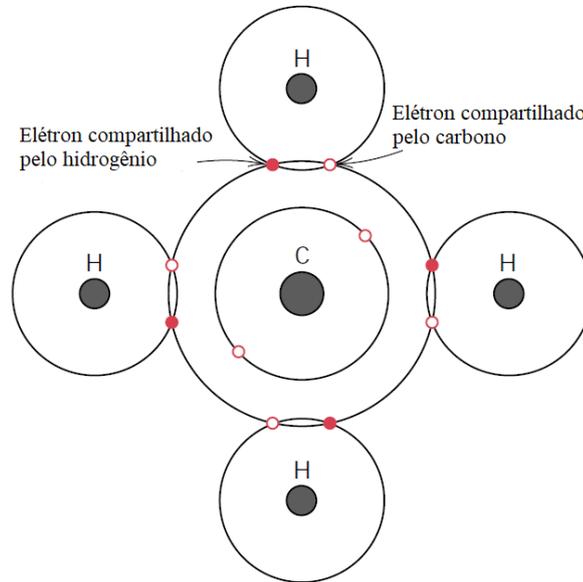
$$E_A = -\frac{A}{r} \quad (1)^1$$

Nesta relação, A é uma constante cujo valor depende da natureza dos átomos envolvidos na interação intermolecular iônica e r é a distância entre dois íons (CALLISTER, 2011).

A ligação covalente está relacionada com o compartilhamento de elétrons entre os átomos, sendo necessário que cada átomo contribua com pelo menos um elétron para a ligação. Os elétrons compartilhados na ligação covalente são considerados pertencentes a ambos os átomos e são ilustrados para o exemplo do CH_4 na figura abaixo:

¹ Fonte: Callister (2011, p 21)

Figura 2 – Representação da ligação covalente da molécula de CH_4



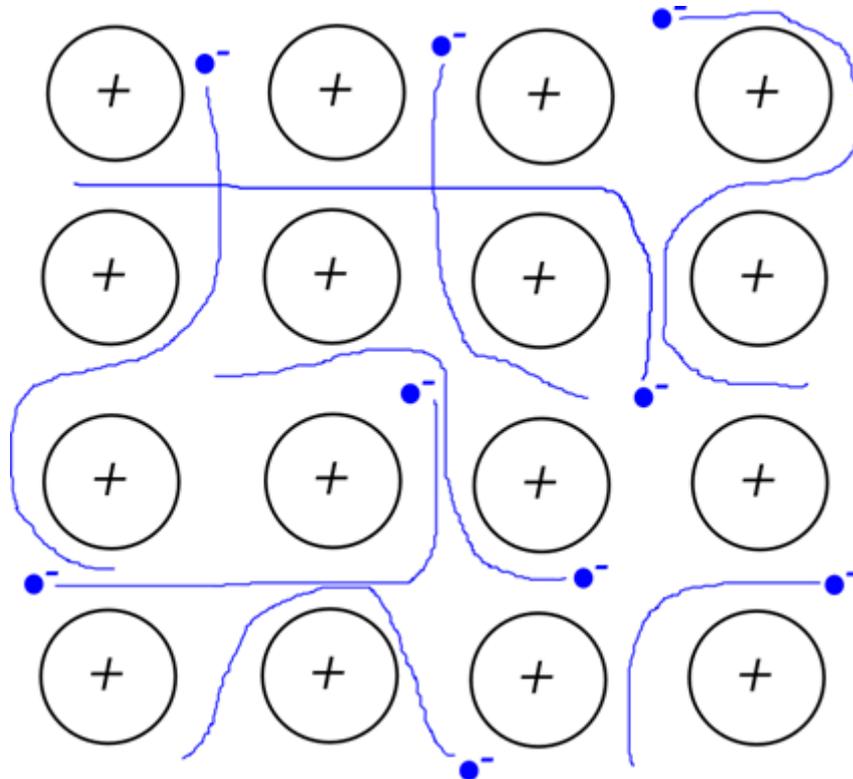
Fonte: Callister (2011, p. 22), adaptado pelo autor.

A ligação covalente só ocorre entre átomos que compartilham elétrons e é muito presente em moléculas elementares, como o caso do H_2 e em moléculas que contêm diferentes átomos, como a CH_4 (Figura 2) e a H_2O , além de ser encontrado em elementos sólidos como o diamante. Por fim, é importante ressaltar que o número de ligações covalente possíveis vai depender do número de elétrons na camada de valência de cada átomo. Por exemplo, o carbono pode realizar 4 ligações e o hidrogênio 1 ligação cada, como está representado na Figura 2 (CALLISTER, 2011).

Em relação a ligação metálica, pode-se afirmar que é a ligação que ocorre entre os átomos dos metais. O tipo mais simples de metal é formado pelos elementos da coluna IA da Tabela Periódica (exceto o H). Estes elementos possuem um elétron facilmente ionizável no orbital s da última camada. Ao formar-se o sólido, estes elétrons tornam-se deslocalizados e podem mover-se quase livremente pelo cristal, ocupando todas as regiões entre os átomos. Esses elétrons são os responsáveis pela condução de eletricidade nestes materiais.

Essa ligação pode ser representada pela Figura 3:

Figura 3 – Representação da ligação metálica



Fonte: O autor.

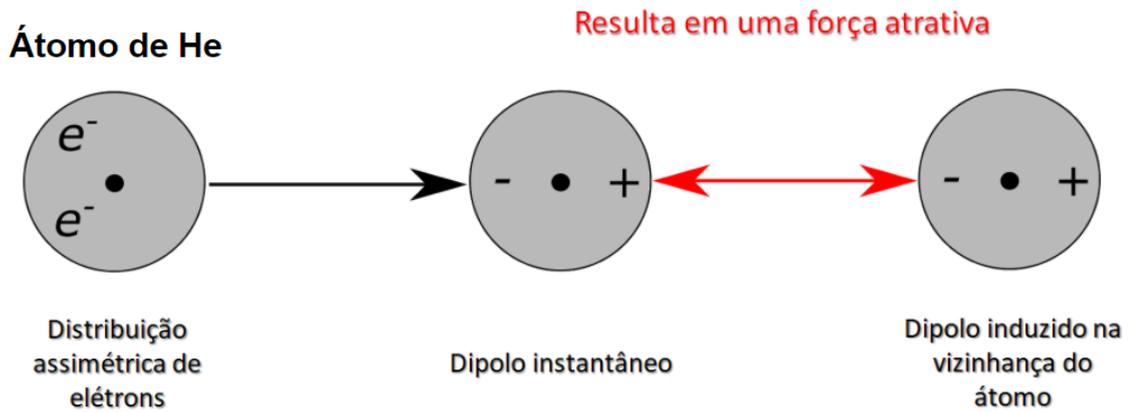
3.1.2 Interações Secundárias (ou Ligação de Van der Waals)

As interações secundárias, também chamadas de ligação de Van der Waals, surgem da interação coulombiana entre dipolos, sejam entre dois dipolos permanentes, dois dipolos induzidos ou entre um dipolo permanente e um induzido. Caso não haja interações iônicas, covalentes ou metálicas, as ligações secundárias se tornam relevantes na interação entre todos os átomos e moléculas. Deste modo, as interações secundárias são mais evidentes em gases inertes, que possuem estrutura eletrônica estável e também em materiais cuja estrutura molecular é formada por interações covalentes.

A ligação entre dois dipolos induzidos acontece devido à probabilidade não nula dos elétrons ocuparem uma distribuição assimétrica na nuvem eletrônica, o que pode criar dipolos momentâneos (figura 4). Esse fenômeno pode interferir na distribuição eletrônica de uma

molécula ou átomo vizinho, induzindo a formação de um dipolo. A ligação atômica de Van der Waals proveniente de dipolos induzidos é formalizada e estudada pela Força de Dispersão de London (KITTEL, 2006).

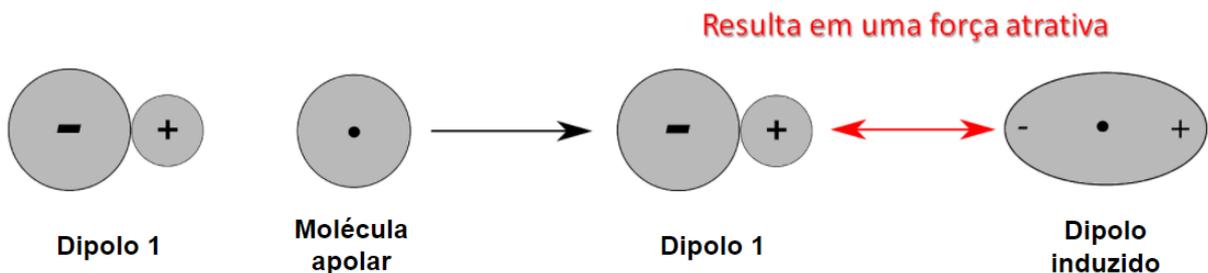
Figura 4 – Força de dispersão de London (Ligação intermolecular entre dipolos induzidos).



A interação entre um dipolo permanente-induzido ocorre quando as moléculas já possuem uma distribuição assimétrica entre seus elétrons e prótons, sendo denominada de uma molécula polar. Quando uma molécula polar se aproxima de uma molécula neutra, ela pode gerar um dipolo induzido, realizando uma ligação devido às forças de atração entre as partes positivas e negativas das moléculas.

A Figura 5 representa uma situação onde ocorre a interação entre um dipolo permanente-induzido, sendo que no momento (a) temos uma molécula neutra que se torna um dipolo induzido no momento (b), devido a aproximação do dipolo permanente.

Figura 5 – Representação da ligação entre um dipolo permanente e um dipolo induzido.



Esse tipo de ligação de Van der Waals, proveniente entre um dipolo permanente e um dipolo induzido, é descrito pela Força de Debye. Essa força possui uma magnitude muito maior que a gerada pela interação entre dois dipolos induzidos (primeiro caso apresentado nesta subseção). As forças de Van der Waals também atuam entre dois dipolos permanentes (Figura 6), possuindo intensidade maior do que entre dipolos induzidos, fazendo desse, o tipo de ligação secundária mais forte de todas as forças de Van der Waals (KITTEL, 2006).

Figura 6 – Representação da ligação de Van der Waals em dipolos permanentes



Fonte: O autor.

A Figura 6 representa a interação interatômica entre dois dipolos permanentes, onde o polo negativo de uma molécula é atraído pelo polo positivo da outra.

As ligações de hidrogênio ocorrem quando um átomo de hidrogênio se liga a outro átomo eletricamente negativo, sendo um caso especial de interação entre dipolos permanentes. Em ligações como H–O, o hidrogênio compartilha seu único elétron com o oxigênio, deixando o próton (positivo) na extremidade contrária ao do elétron compartilhado. Este se torna um dipolo permanente que pode fazer uma forte força atrativa com a extremidade negativa de uma molécula adjacente.

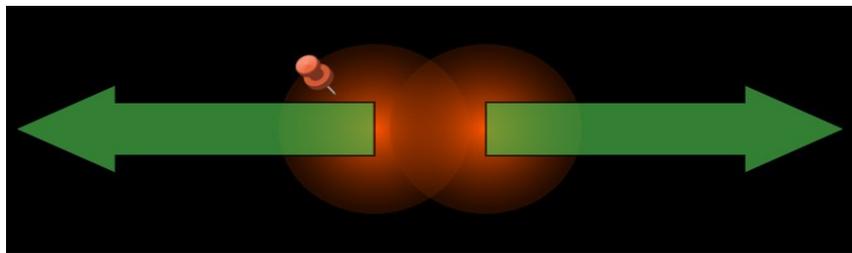
3.1.3 Princípio de Exclusão de Pauli

Vamos escolher o potencial de London como exemplo para fazer uma análise matemática das interações de Van der Waals. O potencial de London (U_L), sendo ele atrativo, aumenta com a sexta potência da redução da distância entre os dois átomos ou duas moléculas (R), conforme a equação 2:

$$U_L(R) \propto -\frac{1}{R^6} \quad (2)$$

Neste sentido, poderíamos argumentar que quanto menor é o valor de R , maior é o potencial atrativo U_L , o que levaria dois átomos ou duas moléculas colapsarem. Contudo, à medida que dois átomos se aproximam, a superposição de suas nuvens eletrônicas dá origem a um forte potencial repulsivo que surge devido ao pelo Princípio de Exclusão de Pauli, enunciando que dois férmions idênticos não podem ocupar o mesmo estado quântico simultaneamente, como mostra a Figura 7:

Figura 7 - Repulsão eletromagnética devido ao Princípio de Exclusão de Pauli



Fonte: *print screen* PhET – Interações Atômicas²

Na Figura 7, dois átomos estão tão próximos que as nuvens eletrônicas dos átomos começam a interagir entre si, surgindo o potencial repulsivo do Princípio de Exclusão de Pauli. Esse potencial é descrito matematicamente por:

$$U_P(R) \propto \frac{1}{R^{12}} \quad (3)$$

Comparando as relações (2) e (3), pode-se concluir que o potencial repulsivo – devido ao Princípio de Exclusão de Pauli – é muito mais intenso à pequenas distâncias do que o potencial atrativo devido às interações de London. Desta maneira, quando temos dois átomos separados por uma distância maior que o tamanho de um raio atômico (r_0), a atração eletromagnética descrita pelas interações de atração de Van der Waals é predominante. Por outro lado, quando dois átomos são separados por uma distância menor que o tamanho de um

² https://phet.colorado.edu/sims/html/atomic-interactions/latest/atomic-interactions_pt_BR.html

raio atômico, ocorre a interação repulsiva, ocasionada pelo Princípio de Exclusão de Pauli que é mais relevante.

3.2 A ORIGEM MICROSCÓPICA DA LEI DE HOOKE

Ao se somar as interações atrativas de Van der Waals e as interações repulsivas do Princípio de Exclusão de Pauli temos que:

$$U(R) \propto \frac{1}{R^{12}} - \frac{1}{R^6} \quad (4)$$

Mas, como o objetivo é determinar a força elástica, analisaremos o problema através da força.

Sendo

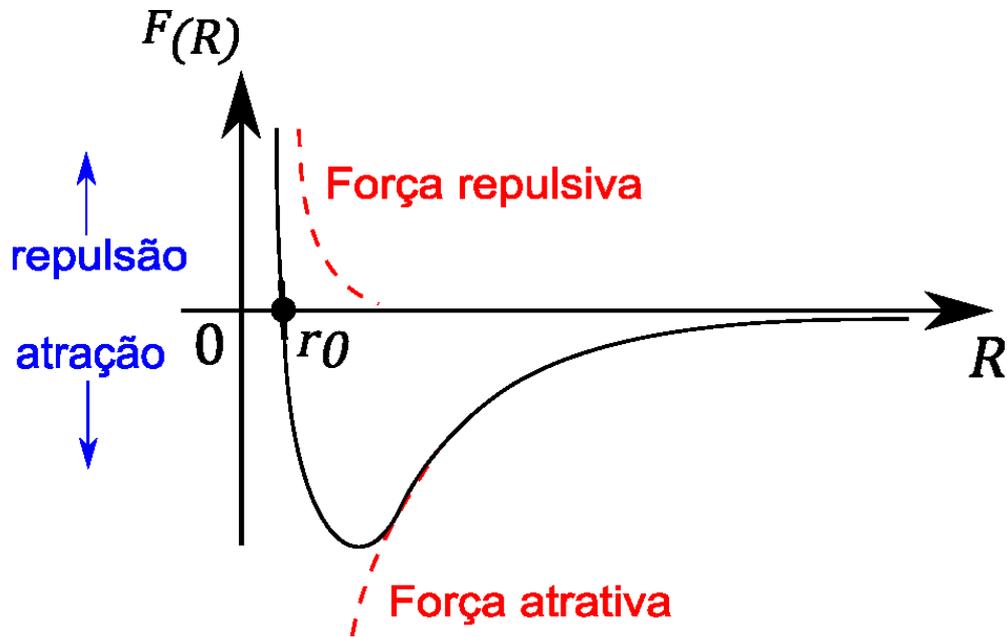
$$F = -\nabla U \quad (5)$$

Então

$$F(R) \propto \frac{1}{R^{13}} - \frac{1}{R^7} \quad (6)$$

Podemos plotar o gráfico da função de interação intermolecular pela distância temos, equação (6), como:

Figura 8 – Gráfico da interação eletromagnética entre dois átomos em função da distância (R) entre eles.



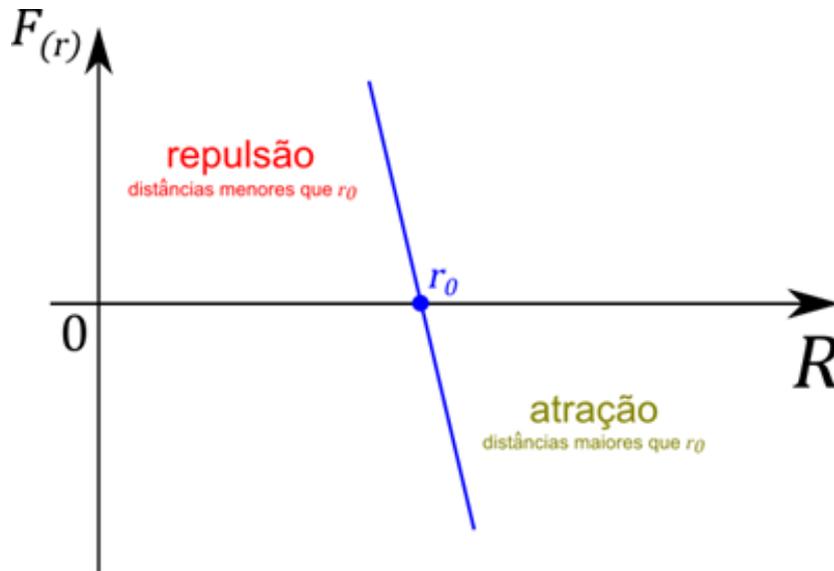
Fonte: O autor (2020).

Na Figura 8, F_R representa a força resultante das interações interatômicas em função da distância (R) entre os átomos/moléculas e r_0 é o ponto de equilíbrio, sendo a posição exata onde as forças de repulsão e atração se anulam.

Conforme discutido acima, o módulo das forças de interação molecular varia de acordo com a distância entre as moléculas, sendo que a força resultante é uma soma entre as forças de repulsão e atração, e a curva representada na Figura 8 varia de acordo com o material, dependendo assim do tipo de ligação molecular que há entre as moléculas (CALLISTER, 2011).

Nas proximidades de r_0 , a curva pode ser aproximada a uma reta (Figura 9), fazendo com que a força varie de maneira linear com o deslocamento, em relação ao ponto de equilíbrio (r_0) (NUSSENZVEIG, 2002).

Figura 9 – Aproximação da curva de interação eletromagnética entre dois átomos em função da distância, nas proximidades de r_0 .



Fonte: O autor (2020).

Essa dependência é conhecida como lei de Hooke, afirmando que “a força em um corpo que tenta retornar a sua situação original quando essa é distorcida é proporcional à distorção” (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008). Esta força é conhecida como força restauradora, pois atua nos corpos de modo a restaurar sua posição de equilíbrio. Nos livros didáticos, a lei de Hooke é representada unidimensionalmente, como:

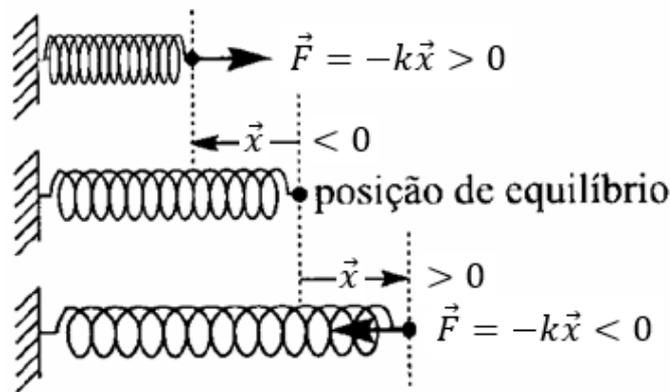
$$\vec{F} = -k\vec{x} \quad (7)$$

Nesta relação, x é a distância do corpo em questão de sua posição de equilíbrio, sendo válida para pequenos deslocamentos.

Embora tenha origem microscópica, esse conceito pode ser utilizado para compreender o comportamento macroscópico de uma mola. Quando uma mola está em repouso, sem estar esticada ou comprimida, nenhuma força atua sobre ela. Contudo, se a mola for esticada, surgirá uma força restauradora, proveniente da interação dos átomos, que será contrária ao deslocamento, puxando a mola novamente para sua posição de equilíbrio. Por outro lado, se a mola for comprimida, a interação dos átomos será repulsiva, gerando uma força restauradora que empurrará a mola para a sua posição de equilíbrio. Algo muito importante a ser ressaltado

é que a força elástica é sempre contrária ao sentido do deslocamento da mola, como mostra a figura 10.

Figura 10– Lei de Hooke.



Fonte: Nussenzveig (2002, p. 86), adaptado pelo autor.

Na figura 8, \vec{x} representa a deformação sofrida pela mola, entendendo deformação como o deslocamento da posição de equilíbrio até onde a mola foi comprimida ou esticada. \vec{F} é a força elástica, que por ser uma força restauradora, atua sempre com o sentido contrário ao deslocamento \vec{x} , e k a constante elástica da mola, que é uma propriedade do material e pode ser entendido como uma dificuldade de se esticar ou comprimir esse corpo.

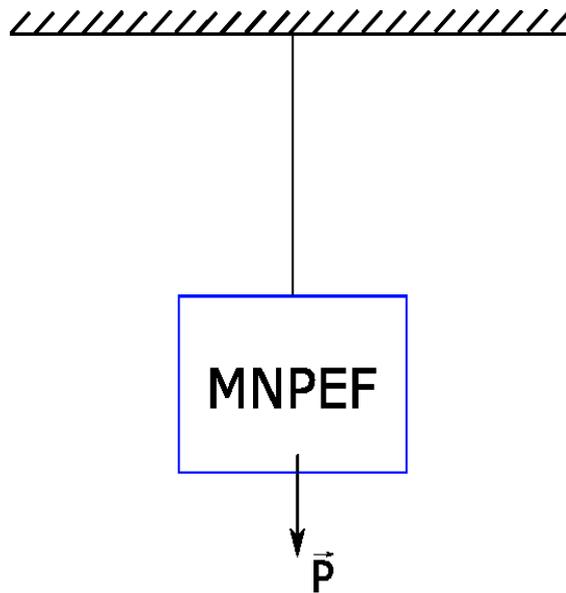
No Ensino Médio a lei de Hooke sofre uma transposição didática, sendo que a equação (7) é apresentada sem o sinal negativo e a limitação à pequenas deformações não é usualmente discutida, além de não ser feita uma abordagem vetorial.

3.3 TENSÃO

Considerando um corpo como inextensível, com as suas moléculas permanecendo fixas no ponto de equilíbrio, não haverá uma elasticidade do corpo e, por consequência, não haverá uma força restauradora. Nesta situação, quando um material é submetido a uma força externa, a resultante das forças de interação interatômica do material dá origem à uma força denominada tensão.

Para entender melhor o conceito de tensão, será analisada uma placa que se encontra pendurada por um fio inextensível no teto, como mostra a figura a seguir:

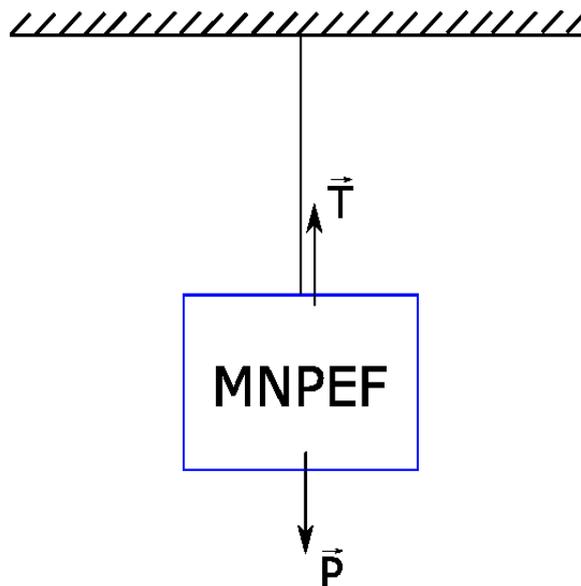
Figura 11 – Diagrama da força peso em uma placa pendurada por um fio inextensível.



Fonte: O autor (2020).

Como a placa está em equilíbrio estático e não cai no chão, há a necessidade de se ter uma força atuando no sentido contrário ao da força peso. Essa força, que é exercida pelo fio inextensível, é denominada de tensão:

Figura 12 – Diagrama de forças em uma placa pendurada por um fio inextensível.



Fonte: O autor (2020).

Como, nesse caso a força resultante que atua sobre a placa é nula, pois o corpo está em equilíbrio estático, temos que a tensão é numericamente igual à força peso:

$$\vec{F}_R = \vec{0} \quad (8)$$

$$\vec{T} + \vec{P} = \vec{0} \quad (9)$$

$$\vec{T} = -\vec{P} \quad (10)$$

Além de explicar como placas ficam penduradas no teto, o conceito de tensão aborda qualquer situação que envolva um fio inextensível, como em pêndulos ideais, corpos sendo puxados através de cabos, molas, polias fixas e móveis, tendo inúmeras aplicações, principalmente nas engenharias.

4 PRODUTO DIDÁTICO

O capítulo 4 da presente dissertação propõe-se a apresentar e caracterizar o produto didático, explicitando a sequência didática e o material de apoio.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO

O produto didático desenvolvido consiste em uma proposta uma sequência didática, destinada à auxiliar o(a) professor(a) na abordagem microscópica dos temas tensão e força elástica no contexto do personagem Homem-Aranha. Como discutido anteriormente, a sequência didática é fundamentada na ε^4 , sendo estruturada com momentos de contextualização, problematização, interação e socialização, além de possuir uma aplicação remota. Já o material de apoio, que foi desenvolvido para dar suporte ao docente que desejar aplicar esse produto didático, contém três videoaulas que abordam os conceitos de tensão e força elástica de maneira microscópica, sempre utilizando o Homem-Aranha como o pano de fundo, analisando cenas de filmes, jogos e situações em que o herói pode estar presente. Além das videoaulas, o material de apoio contém um texto de apoio temático, sendo escrito de uma maneira interativa, como se o super-herói estivesse dialogando com o interlocutor de maneira bem-humorada, trazendo também exercícios temáticos e de vestibulares. Por fim, o material de apoio contém também um roteiro experimental que utiliza as simulações computacionais, fazendo com que o aluno interaja diretamente com os conceitos abordados ao longo da sequência didática.

Tabela 1 – Esquematização da sequência didática recomendada para a aplicação.

MOMENTO	ETAPA	PILAR DA ε^4	TEMPO
1	Apresentação da proposta didática aos alunos. ³	-	1 h/a
2	Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica.	Contextualização	6 min
3	<i>feedback</i> dos conceitos apresentados na Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica.	Problematização e interação	1 h/a
4	Videoaula 02 – Matemática da força elástica.	Contextualização	8 min
5	<i>feedback</i> dos conceitos apresentados na Videoaula 02 – Matemática da força elástica.	Problematização e interação	1 h/a
6	Roteiro experimento.	Interação e socialização	1 h/a
7	Videoaula 03 – Tensão.	Contextualização	7 min
8	<i>feedback</i> dos conceitos apresentados Videoaula 03 – Tensão.	Problematização e interação	1 h/a
9	Socialização.	Socialização	2 h/a

Fonte: O autor

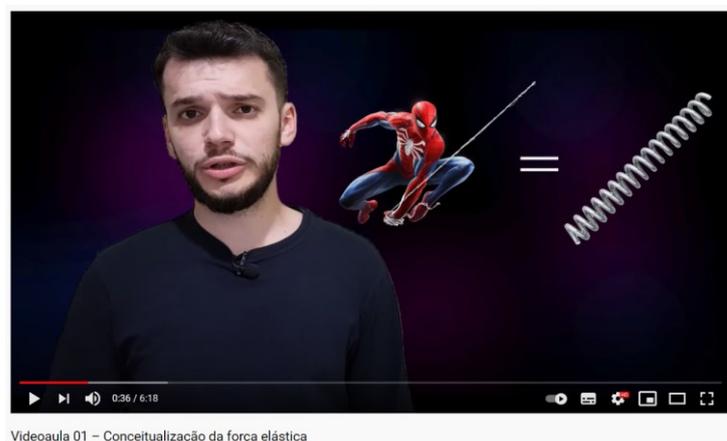
O **primeiro momento** é a apresentação da proposta didática aos alunos: No primeiro momento da aula, o professor deve expor aos alunos que as próximas 5 aulas serão feitas por

³ Caso houver tempo, o professor pode iniciar o momento 2 da sequência didática

meio de uma metodologia ativa chamada sala de aula invertida, onde os estudantes irão assistir videoaulas antes de ir para a aula e que o período da aula será reservado para tirar dúvidas e para a aplicação dos conceitos trabalhados nas videoaulas. Deve-se incentivar e expor a importância de se assistir as videoaulas aos alunos, explicando que esses vídeos são fundamentais para o funcionamento da metodologia. Por fim, o professor pode expor que no decorrer das videoaulas serão trabalhados os conceitos de força de elástica e tensão por meio de uma abordagem microscópica.

O **segundo momento** é caracterizado como a contextualização descrita pela Educação 4.0, onde será apresentado o conceito que será estudado, utilizando o homem aranha para que haja um envolvimento emocional entre estudante e objeto do conhecimento. Nesse momento será feita a indicação da [Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica](#), onde os alunos irão assistir a aula em casa, como tarefa. Essa videoaula aborda, de maneira microscópica, o conceito da força elástica, tendo como objetivo que os alunos compreendam que o comportamento de esticar e comprimir visto em molas é proveniente de interações eletromagnéticas que existem entre os átomos que constituem o corpo, sempre relacionando isso com as teias do Homem-Aranha.

Figura 13 – *Print screen* da Videoaula 01



Fonte: O autor.

O **terceiro momento** é onde acontece a problematização e interação, tanto do aluno com o conteúdo, quanto do aluno-aluno. Durante esse momento será feito um feedback dos

conceitos apresentados na [Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica](#) utilizando o material de apoio. É importante que esse feedback se deicie pelas dúvidas dos estudantes e, a partir dos questionamentos, o professor percorra todos os conceitos. Após o feedback, o professor irá separar os alunos em grupos de 4 ou 5 alunos e irá aplicar as atividades do “VAMOS PRATICAR I” (Figura 14) que se encontra na página 16 do material de apoio.

Os exercícios indicados nesta parte do produto didático são de caráter conceitual, buscando avaliar se os alunos compreenderam a relação entre a interação atômica e a descrição do movimento de contração e extensão de uma mola.

Figura 14 - *Print screen* dos exercícios 1 e 2.

VAMOS PRATICAR I

1. Existem apenas quatro forças fundamentais no Universo: força eletromagnética, força gravitacional, força nuclear forte e nuclear fraca. Todas as outras forças são derivadas dessas quatro. Até mesmo a força elástica, que é a força que explica o comportamento das teias do Homem-Aranha, é derivada de uma dessas quatro forças fundamentais. Faça um pequeno texto explicando como é possível que a força eletromagnética seja a força fundamental que de origem a força que explica o funcionamento das teias do Homem-Aranha, sabendo que a teia se comporta como uma mola ideal, podendo ser comprimida ou esticada, mas sempre tende a retornar a sua posição de equilíbrio. *Ps:* você pode incluir desenhos para complementar seu texto.
2. Quando duas moléculas que formam a teia do Homem-Aranha estão afastadas por distâncias maiores que a de um raio atômico, existe uma atração eletromagnética entre as moléculas, fazendo com que quando a teia for esticada ela retorne à posição de equilíbrio. Agora quando as moléculas da teia estão muito próximas, com distâncias menores que o tamanho de um raio atômico, as moléculas sofrem uma repulsão eletromagnética, fazendo com que quando a teia, que está comprimida, retorne ao tamanho inicial. Explique, através de desenhos, texto ou gráficos porquê esse fenômeno ocorre com as molas e com a teia do Homem-Aranha.

Fonte: O autor.

O **quarto momento** é uma nova contextualização, onde ocorre a indicação da [Videoaula 02 – Matematização da força elástica](#), sendo que os alunos irão assistir a aula em

casa, como tarefa. Essa videoaula aborda a Matematização da força elástica, tendo como objetivo que os alunos consigam compreender a relação entre sentido do deslocamento e sentido da força elástica, além de conseguir prever e interpretar situações que envolvem molas. Por fim, nessa aula, se faz a análise de uma cena do filme O Espetacular Homem-Aranha 2, onde se aplica a Lei de Hooke para se interpretar a situação.

Figura 15 – *Print screen* da Videoaula 02 parte 01



Fonte: O autor.

Figura 16 - *Print screen* da Videoaula 02 parte 02

CALCULO DA FORÇA ELÁSTICA

$x = 10 \text{ m}$
 $k = 550 \text{ N/m}$

$\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$
 $F_{el} = -550 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 10\text{m}$
 $F_{el} = -5500 \text{ N}$
 $F_{el} = P$

Vídeoaula 02 – Matematização da força elástica

Fonte: O autor.

Já no **quinto momento**, temos uma nova etapa de problematização e interação, sendo feito o feedback dos conceitos apresentados na [Videoaula 02 – Matematização da força elástica](#) utilizando o material de apoio. É importante que esse feedback se de inicie pelas dúvidas dos estudantes e, a partir dos questionamentos, o professor percorra todos os conceitos. Após o feedback, o professor irá separar os alunos em grupos de 4 ou 5 alunos e irá aplicar as atividades do “VAMOS PRATICAR II” (Figuras 17 e 18) que se encontra nas páginas 22 e 23 do material de apoio.

Os exercícios do 3, 4, 5 e 6 do material de apoio buscam avaliar se os alunos compreenderam a relação entre sentido do deslocamento e força exercida pela mola, além de conseguir aplicar a lei de Hooke, sendo que o exercício 3 é de caráter conceitual, e os exercícios 4, 5 e 6 são matemáticos, com o exercício 4 sendo temático e os exercícios 5 e 6 exercícios de vestibulares.

Figura 17 - Print screen dos exercícios 3

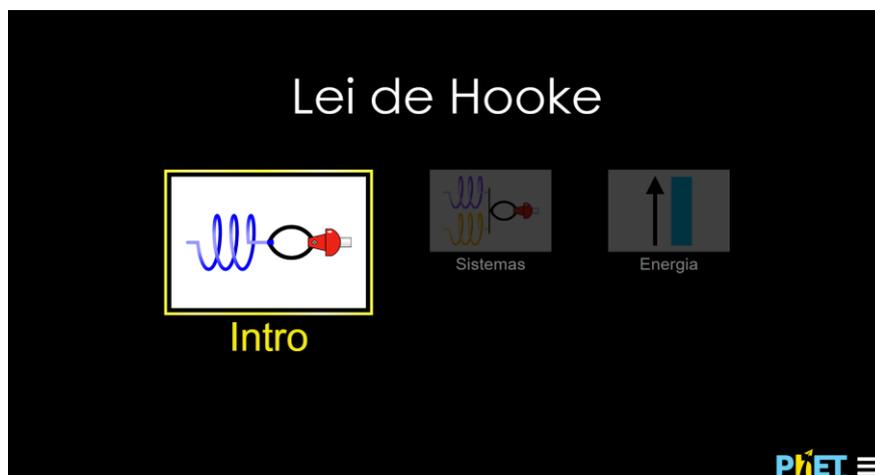
VAMOS PRATICAR II

3. A teia que o Homem-Aranha utiliza para se balançar de um lado para o outro ou para lutar contra vilões precisa esticar e comprimir, tendo o seu comportamento aproximado ao de uma mola ideal. Dessa maneira, o amigão da vizinhança pode utilizar a Lei de Hooke ($\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$) para fazer algumas previsões e melhorar a sua teia, diminuindo o risco de se pendurar em um prédio e acabar batendo no chão ou de não conseguir prender um inimigo que colocou sua namorada em perigo. Sabendo que \vec{F}_{el} é a força elástica, dada em N no SI; k é a constante elástica, dada em N/m no SI; \vec{x} é a deformação da mola em relação a posição de equilíbrio, medida em metros (m) no SI, escreva um pequeno texto para o Homem-Aranha explicando quais são as relações entre força e deslocamento que a Lei de Hooke nos fornece?

virtual que está disponível no apêndice A do produto didático, sendo que os alunos receberão um relatório estruturado para experimentar e visualizar os conceitos aprendidos durante as duas primeiras aulas. Nesse momento será feita uma atividade experimental virtual (disponível no apêndice A do produto didático), a partir de dois simuladores do PhET⁴ Colorado, sendo que os alunos receberão um relatório estruturado para experimentar e visualizar os conceitos aprendidos durante duas primeiras aulas.

O primeiro simulador, o *Hooke's Law*⁵ tinha como objetivo experimentar a parte conceitual da força elástica através da Lei de Hooke, relacionando o sentido do deslocamento realizado pelo braço mecânico e o sentido da força exercida pela mola. Os itens 4, 7 e 8 do relatório experimental avaliam se o aluno compreendeu, de maneira experimental, que o sentido da força e do deslocamento são contrários. Considerando as respostas dos itens 4, 7 e 8 e as respostas das questões 1 e 2, foi possível aferir que quase todos os grupos compreenderam essa relação, pois apenas um grupo não conseguiu expressar essa relação.

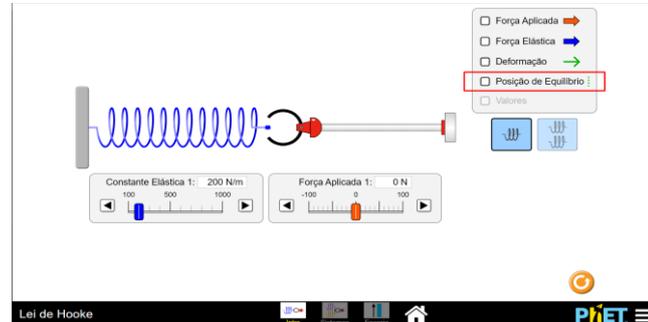
Figura 19 – *Print screen* da tela inicial do simulador *Hooke's Law*



Fonte: O autor

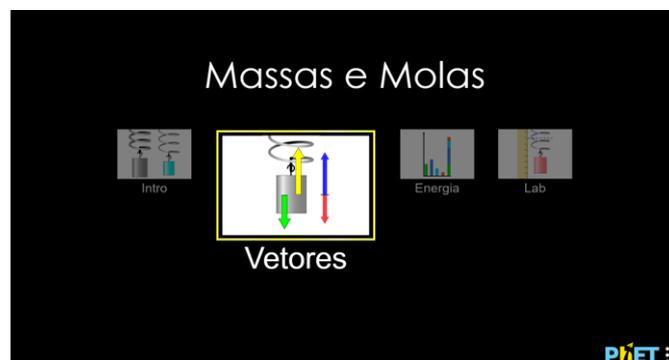
⁴ <https://phet.colorado.edu/>

⁵ <https://phet.colorado.edu/en/simulation/hookes-law>

Figura 20 - *Print screen* do simulador *Hooke's Law*

Fonte: O autor

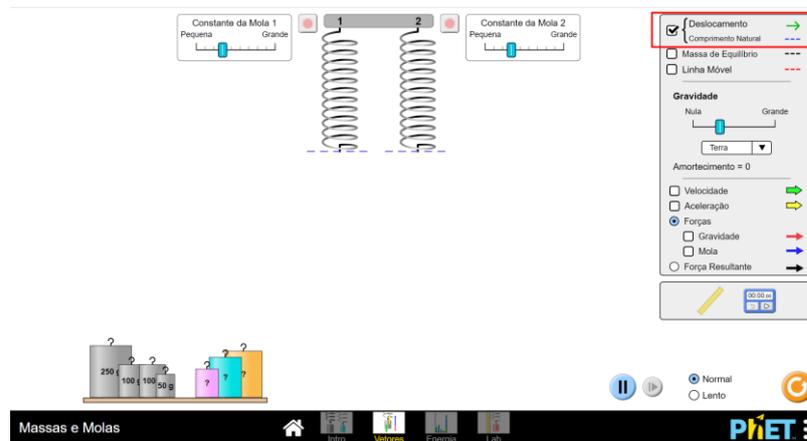
Já o segundo simulador, chamado de *Masses and Springs*⁶, avaliava a parte matemática da força elástica. Os itens 14 e 24 do relatório experimental buscam aferir se os alunos conseguem compreender o ponto de equilíbrio e o deslocamento de um sistema massa mola, já os tópicos 15 e 25 avaliavam se os alunos conseguiam calcular a constante elástica das molas apresentadas nos simuladores. Os tópicos 17, 19, 21 e 24 avaliam se os alunos conseguem aplicar a lei Hooke e determinar, através do deslocamento sofrido pela mola, as massas de materiais misteriosos. Por fim, o tópico 22 avalia se os alunos compreendem a movimentação de uma mola.

Figura 21 - *Print screen* da tela inicial do simulador *Masses and Springs*

Fonte: O autor

⁶ <https://phet.colorado.edu/en/simulation/masses-and-springs>

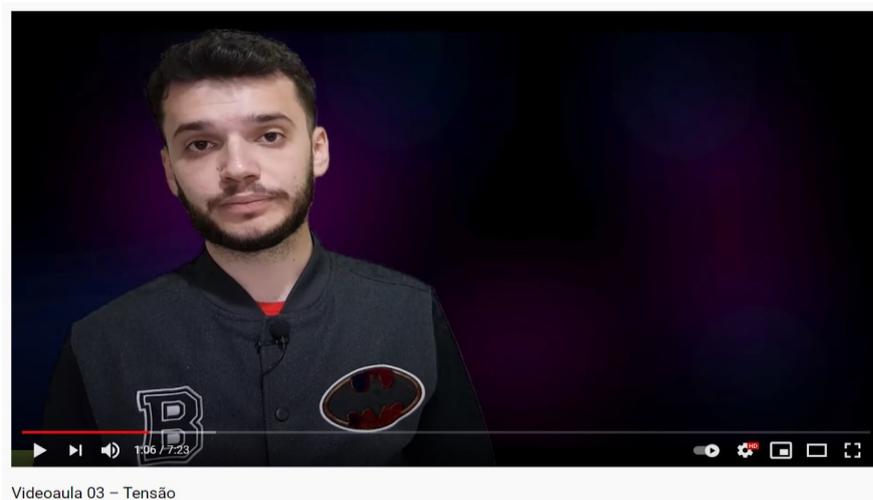
Figura 22 - Print screen do simulador *Masses and Springs*



Fonte: O autor

O **sétimo momento** é a última contextualização realizada no decorrer desse produto didático e consistem em indicar a [Videoaula 03 – Tensão](#), que os alunos assistirão a aula em casa, como tarefa. Nessa videoaula será trabalhado a parte conceitual e matemática da tensão, sempre levando em conta o Homem-Aranha como pano de fundo e, por fim, analisando imagens do jogo do herói e uma cena do filme Homem-Aranha: de volta ao lar.

Figura 23 - Print screen da Videoaula 03 parte 01



Fonte: O autor.

Figura 24 - Print screen da Videoaula 03 parte 02



Videoaula 03 – Tensão

Fonte: O autor.

Figura 25- Print screen da Videoaula 03 parte 03



Videoaula 03 – Tensão

Fonte: O autor.

No **oitavo momento** é a última problematização e interação entre aluno e o objeto de conhecimento. Nesse momento será feito o último feedback dos conceitos apresentados na [Videoaula 03 – Tensão](#) utilizando o material de apoio. É importante que esse feedback se de início pelas dúvidas dos estudantes e, a partir dos questionamentos, o professor percorra todos os conceitos. Após o feedback, o professor irá separar os alunos em grupos de 4 ou 5 alunos e irá aplicar as atividades do “VAMOS PRATICAR III” (figuras 26 e 27) que se encontra nas páginas 28 e 29 do material de apoio.

As questões dessa parte do produto cobram a aplicação e conceitualização do conceito físico de tensão, sendo o exercício 7 temático, onde descreve uma situação que o Homem-Aranha precisa se pendurar de um prédio para o outro e a questão 8 é uma questão de processo seletivo.

Figura 26 – *Print screen* das questões 7 e 8 parte 01

VAMOS PRATICAR III

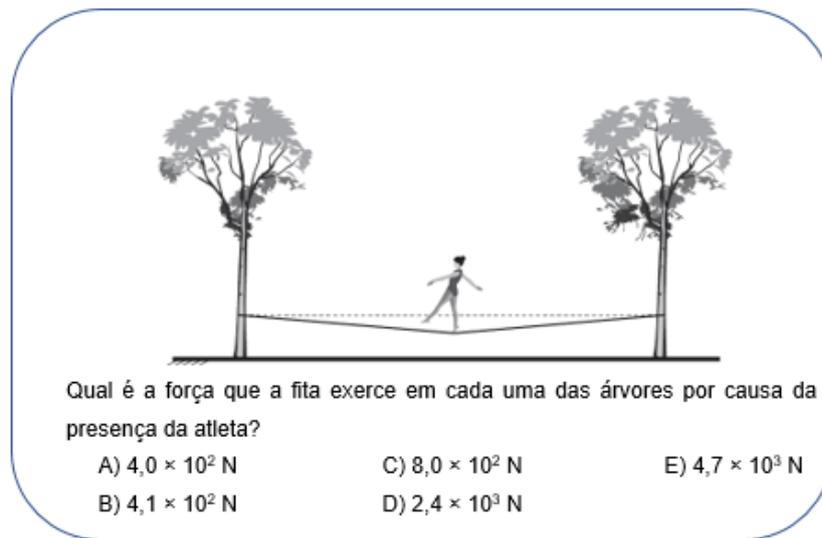
7. Em uma cena do filme Homem-Aranha de 2002, o herói para um trem de 11 vagões que viajava a 80 km/h. Nessa situação em específico, o “miranha” utilizou as teias inextensíveis e para parar o trem por completamente, como apresenta a *Figura 23*.



Figura 23 – Homem-Aranha parando o trem.
Fonte: *print screen* do filme Homem-Aranha 2002.

Sabendo que no momento em que esse sistema entra equilíbrio estático o trem faz uma força de 18.000 N no herói, qual é a tensão em cada uma das duas teia inextensíveis, se ela possuem um ângulo de 60° entre elas?

8. (ENEM) *Stackline* é um esporte no qual o atleta deve se equilibrar e executar manobras estando sobre uma fita esticada. Para a prática do esporte, as duas extremidades da fita são fixadas de forma que ela fique a alguns centímetros do solo. Quando uma atleta de massa igual a 80 kg está exatamente no meio da fita, essa se desloca verticalmente, formando um ângulo de 10° com a horizontal, como esquematizado na figura. Sabe-se que a aceleração da gravidade é igual a 10 m/s², $\cos(10^\circ) = 0,98$ e $\sin(10^\circ) = 0,17$.

Figura 27 - *Print screen* das questões 7 e 8 parte 01

Fonte: O autor.

Por fim, o **nono momento** é a socialização, que será realizada por meio de slides, vídeos ou apresentação oral, onde as equipes deverão expor os resultados, dificuldades e aprendizados que tiveram durante as atividades “VAMOS PRATICAR” I, II e III e do relatório experimental.

Aqui é o último momento de interação entre os alunos, além de ser o momento de socialização dos aprendizados. Dessa maneira, todos os alunos e grupos podem compreender e analisar pensamentos, dificuldades e aprendizados dos colegas.

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO

Este capítulo dedica-se a contextualizar o local de aplicação, além de relatar a aplicação do produto didático.

5.1 REALIDADE DO LOCAL DE APLICAÇÃO

O presente produto didático foi aplicado no Colégio Universitário UNIDAVI, que é o colégio de aplicação do Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí (UNIDAVI) situado em Rio do Sul, Santa Catarina. A UNIDAVI foi fundada em 7 de julho de 1966 por meio de uma Lei Municipal, que sancionou a instituição como comunitária, sem fins lucrativos, além de dar o objetivo de alavancar o desenvolvimento da região do Alto Vale do Itajaí. Hoje possui mais de 6 mil alunos divididos entre os cursos de Pós-Graduação, Graduação, Cursos Técnicos, Ensino Médio, Ensino Fundamental Inicial e Final, além da Educação Infantil. Desses mais de 6 mil alunos, 89 são integrantes do Ensino Médio, nível de ensino no qual o produto didático foi aplicado.

A escolha dessa instituição para a aplicação se deu por dois motivos, sendo o primeiro deles a estrutura. A instituição possui uma parceria com a *Google*⁷, liberando assim o acesso de professores e alunos às ferramentas de ensino como o *Google Classroom*⁸, *Jamboard*⁹, *Google Meet*¹⁰, *Google Documento*¹¹ e *Google Apresentações*¹², que foram ferramentas essenciais para uma aplicação em caráter virtual, já que as aulas presenciais foram suspensas devido a pandemia mundial de COVID-19. O segundo motivo foi o fato de que o autor do produto didático já possuía vínculo com a instituição e estava acostumado com a organização da mesma, e dos alunos, algo que exclui o tempo de adaptação entre alunos e professor.

A turma na qual o produto didático foi aplicado é a turma de primeiro ano do Ensino Médio, uma turma que possui 31 alunos entre 14 e 16 anos de idade. Foi optado por essa turma pois o conteúdo abordado durante o decorrer do produto didático é está no currículo

⁷ <https://www.google.com.br/>

⁸ <https://classroom.google.com/>

⁹ <https://jamboard.google.com/>

¹⁰ <https://meet.google.com/>

¹¹ <https://docs.google.com/document>

¹² <https://docs.google.com/presentation>

institucional da mesma, fazendo com que não haja a necessidade de alteração em uma estrutura maior, fazendo dessa aplicação algo mais orgânico.

5.2 APLICAÇÃO MOMENTO A MOMENTO

Esta seção dedica-se a relatar, momento a momento, todas as situações que envolveram a aplicação do produto didático no Colégio Universitário UNIDAVI.

5.2.1 Momento 01: Apresentação da proposta didática aos alunos

Na primeira aula da aplicação do produto, que ocorreu de maneira virtual, através do *Google Meet*¹³ às 11h do dia 31 de agosto de 2020, foi explicado aos alunos o panorama geral da sequência didática, explicando as atividades que eles fariam ao longo de todo percurso, além, de apresentar o material de apoio e o canal de *YouTube*¹⁴ (Vinicius Marquez¹⁵) onde estavam as videoaulas.

Durante a explicação apenas uma dúvida surgiu: uma estudante questionou se o feedback (momento 03 da sequência didática) seria feito na aula do período vespertino ou matutino.

Após a explicação, de toda a sequência didática, foi solicitado para que os alunos se separassem em 7 grupos de 4 ou 3 alunos. Essa separação deveria levar em conta a disponibilidade em se encontrar de maneira remota, por *lives* através do *Google Meet*, ligações ou mensagens entre os integrantes do grupo.

5.2.2 Momento 02: Indicação da Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica

Ao final do primeiro momento didático, os alunos foram direcionados a assistir a Videoaula 01 - Conceitualização da força elástica¹⁶, além de serem incentivados a fazer anotações durante esse processo.

¹³ <https://meet.google.com>

¹⁴ <https://www.youtube.com>

¹⁵ Link do canal: <https://www.youtube.com/channel/UCNwHljr3JkiCatK36Zz943A>

¹⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=UTMn7SaMrWk>

5.2.3 Momento 03: feedback dos conceitos apresentados na Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica

O terceiro momento da sequência didática se iniciou através de um questionamento aos estudantes: houve alguma dúvida referente a primeira videoaula que conceitualiza a força elástica? Os que se pronunciaram falaram que não houve nenhum tipo de dúvida.

Então, partiu-se para uma revisão dos conceitos trabalhados nos vídeos, sempre realizando questionamentos aos alunos, como, por exemplo:

Professor: De qual dessas quatro forças fundamentais a força elástica é derivada?

Aluno 1: Eletromagnética!

Professor: Por quê?

Aluno 1: Por causa da atração eletromagnética entre as moléculas.

A revisão dos conteúdos continuou até o momento onde se teve uma nova conversa com outro aluno:

Professor: Por que a mola volta a posição original quando ela é comprimida?

Aluno 2: Por causa da repulsão eletromagnética.

Após a revisão completa, foi indicado os exercícios 1 e 2 do material de apoio (disponível no anexo A), para que, em grupos, os estudantes realizassem as atividades.

O único questionamento que apareceu nesse momento foi de um grupo pedindo um prazo maior para entrega, pois eles não haviam encontrado um horário confortável para que todos se encontrassem para discutir juntos as questões. Após o pedido ser analisado, o prazo foi estendido.

Por fim, foi pedido aos alunos que se juntassem nos grupos e discutissem os exercícios passados, algo que, aparentemente aconteceu, pois em apenas algumas horas dois grupos já haviam enviado suas respostas.

5.2.4 Momento 04: Indicação da Videoaula 02 – Matemática da força elástica

O quarto momento da sequência didática, ocorreu no dia 01 de setembro de 2020, e teve seu início através da recepção aos alunos por meio da *live*.

Após a recepção, indicou-se a segunda videoaula (Videoaula 02 - Matemática da força elástica¹⁷) e fez-se um pequeno resumo sobre o que se abordaria no vídeo, além de incentivar os alunos para que assistissem a videoaula com atenção, fazendo anotações dos conceitos e de possíveis dúvidas.

Por fim, foi perguntado se algum estudante tinha questionamentos, mas ninguém se pronunciou. Sendo assim, os alunos foram direcionados para assistir a videoaula.

5.2.5 Momento 05: feedback dos conceitos apresentados na Videoaula 02 – Matemática da força elástica

A aula teve início a partir das dúvidas dos alunos sobre a matemática da força elástica. Sendo assim, uma aluna questionou:

Aluno 1: Professor, a força elástica está onde? É a força que a mola aplica no corpo ou o quê?

A pergunta foi respondida, explicando que a força é aplicada pela mola e em outros corpos. Como exemplo, o professor demonstrou a força elástica utilizando uma caneta com botão retrátil.

Após a resposta, foi feita uma breve revisão dos conceitos matemáticos que envolvem a força elástica. Terminando com um novo questionamento sobre dúvidas, mas nenhum aluno se pronunciou.

Sendo assim, foram indicados os exercícios 3, 4, 5 e 6 para que os grupos fizessem.

Durante a execução dos exercícios, algumas dúvidas surgiram:

Aluno 3: Boa tarde! Estou com dificuldade de resolver a questão nº 4. Mandarei uma foto para exemplificar até onde nosso grupo chegou.

¹⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=ZSjrsbuQDrw>

Após ter analisado a conta, foi recomendado que o grupo fizesse um desenho da situação descrita no enunciado, pois assim eles teriam um melhor entendimento do que estariam calculando.

O grupo fez a representação artística da questão, mas foram necessárias algumas correções para que chegassem no que a questão estava descrevendo. Minutos depois, os alunos enviaram o desenho de maneira correta.

Por fim, esse grupo apresentou mais uma dúvida: como eles saberiam a distância do Homem-Aranha ao chão, já que a questão falava apenas em andares, não em metros.

Professor: Podes pegar uma altura média de um andar na internet e colocar em metros.

Aluno 3: Mind Blowing, não pensei em fazer óbvio.

O mesmo aconteceu com outro grupo, que também pediu atendimento sobre a questão 4, sendo que novamente não haviam feito um desenho que descrevesse o enunciado. Mas, após indicado que fizessem isso, eles conseguiram desenvolver a questão de maneira natural, ficando apenas uma dúvida matemática relacionada a aplicação do Teorema de Pitágoras.

Mais dois grupos apresentaram dúvidas nessa questão, e todas elas envolviam o desenhar e abstrair o que o enunciado apresentava, além de terem dificuldade em conseguir colocar uma medida média para o tamanho de um andar.

5.2.6 Momento 06: Roteiro experimental

Se iniciou a aula apresentando a atividade experimental que os alunos iriam fazer, foram lidos os tópicos com os mesmos a seguir questionados acerca de dúvidas, mas nenhum aluno se pronunciou nesse momento.

Após a explicação, os alunos foram liberados para que se juntassem em grupos e realizassem a atividade (disponível no APÊNDICE B – LABORATÓRIO DE FORÇA ELÁSTICA).

Durante essa atividade, 4 dos 7 grupos pediram auxílio, sendo que o primeiro grupo a pedir estava com dificuldades nas questões 17 e 19 da parte experimental. A dificuldade desse

grupo era compreender a necessidade de se calcular a constante elástica k da mola, para depois, determinar os valores das questões subsequentes. Após explanado para o grupo, o trabalho seguiu tranquilamente para eles.

O segundo grupo a pedir ajuda perguntou quais eram as atividades que deveriam ser feitas. Já o terceiro grupo se confundiu com os conceitos de sentido e direção.

O quarto grupo que solicitou mediação, apresentou os mesmos questionamentos que o primeiro grupo e, novamente, após esclarecido a necessidade de se calcular a constante elástica, retomaram os estudos.

5.2.7 Momento 07: Indicação da Videoaula 03 – Tensão

O terceiro momento do produto didático teve o seu início às 11 horas do dia 21 de setembro de 2020, onde os alunos foram recepcionados na *live* e, após a recepção, foi indicado que assistissem a Videoaula 03 - Tensão¹⁸, anotando dúvidas, pois iríamos conversar sobre o assunto que seria discutido na próxima aula.

Já que dos grupos apresentou dúvidas referentes às atividades passadas, eles foram direcionados a assistir a videoaula sobre Tensão.

5.2.8 Momento 08: feedback dos conceitos apresentados na Videoaula 03 – Tensão

Os alunos foram recepcionados e foi retomada a videoaula assistida por meio de uma roda de conversa. Uma aluna, de maneira espontânea, falou que compreendeu completamente a parte conceitual, mas ficou com dúvidas caso caísse uma questão que envolvesse ângulos.

Para exemplificar a tensão onde envolvia ângulos, foi desenhado, no quadro, uma placa pendurada no teto com as cordas separadas em 90 graus. Resolvemos o exercício juntos, revisando os conceitos de vetor.

Após esse momento de revisão e feedback, os alunos foram direcionados para os exercícios. Durante a resolução desses exercícios apenas um grupo pediu para que o professor revisasse as questões que eles fizeram, para garantir se estavam no caminho certo ou se haviam acertado a questão.

¹⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=9RmuU5OPjgo>

Durante esse atendimento foi necessário apenas lembrá-los de utilizar as unidades e sobre a decomposição de vetores, mas nada relacionado aos conceitos de Tensão.

5.2.9 Momento 09: Socialização

A aula iniciou por meio de uma recepção na *live* às 11 horas do dia 22 de setembro de 2020, sendo questionado se algum deles possuía dúvidas referentes a alguma atividade passada. Uma aluna apresentou duas dúvidas:

Aluna 1: Por que a tensão é igual a força feita pelo homem aranha no segundo exercício dessa última parte? Qual a definição de tensão? Qual a diferença para uma outra força?

Ambas as questões foram respondidas, sendo a primeira delas, utilizando os desenhos e gráficos da própria videoaula para demonstrar e explicar.

Após essas dúvidas, foi explicado aos alunos a última parte do produto didático: a socialização. Onde eles deveriam agrupar todas as atividades feitas ao longo desse processo de estudos em um único documento (slide, vídeo, editor de texto, entre outros), formando assim, um portfólio. Além da entrega de todas as atividades, os grupos deveriam socializar com o resto dos colegas como foi todo o processo de resolução de exercícios e experimentos, compartilhando sua organização, construção, dificuldades e resultados.

Por fim, foi questionado se havia alguma dúvida, mas nenhum aluno se pronunciou. Então eles foram direcionados a preparar a socialização.

5.2.9.1 Grupo 1

O Grupo 1 (G1), grupo que deu início às apresentações, utilizou slides para socializar as suas produções. Essa apresentação foi em um formato de conversa entre o grupo, eles relataram todas as atividades, sempre comentando seus aprendizados, dificuldades e facilidades de forma bem detalhada.

Os integrantes do G1 comentaram que não tiveram dúvidas ou dificuldades no entendimento e resolução das duas primeiras questões do material de apoio, algo que foi

diferente nas questões 3, 4, 5 e 6 (questões que envolviam a matematização da força elástica). Consideraram a questão 4 como mais complicada de se fazer, pois, a questão 4, envolvia uma a estruturação da questão em si, tendo que desenhar e entender a situação descrita, além de ser necessário utilizar conhecimentos trigonométricos. Sobre os experimentos (APÊNDICE B – LABORATÓRIO DE FORÇA ELÁSTICA), o grupo comentou que não sentiu dificuldade alguma e adoraram colocar a “mão na massa”, mexendo nas ferramentas do *Phet*¹⁹. Sobre as questões 7 e 8, apesar de se tratar de contas que envolviam ângulos e decomposições, o grupo as descreveu como tranquilas.

5.2.9.2 Grupo 2

O Grupo 2 (G2) também utilizou slides para socializar o seu trabalho com a turma, mas, diferente do G1 que fez em forma de conversa entre os integrantes, o G2 fez a sua apresentação em formato de palestra, com apenas os integrantes falando em partes que já estavam pré-definidas por eles e, aparentemente, muito bem ensaiadas.

Uma integrante do G2 fez uma introdução da socialização da atividade, apresentando os objetivos do trabalho, além dos recursos utilizados ao longo do mesmo. Após esse momento de introdução, outra integrante do grupo apresentou os resultados das duas primeiras questões realizadas ao longo dessa trilha, mostrando, por meio dos slides, os desenhos feitos e explicando o que cada um representava. Finalizando a descrição das duas primeiras atividades, uma terceira integrante do grupo apresentou as questões 3, 4, 5 e 6. Nesse momento, a integrante 3 foi muito detalhista na sua apresentação, explicando passo a passo os pensamentos, cálculos e interpretações do grupo. Por fim, a aluna, comenta que a questão 4 foi a considerada a questão com o maior grau de dificuldade, sendo que interpretar a situação e representar por meio de um desenho foi essencial para a resolução. Para falar da parte experimental do produto didático (APÊNDICE B – LABORATÓRIO DE FORÇA ELÁSTICA), a primeira integrante do grupo retoma a palavra, e relata, passo-a-passo todas as ações feitas pelo G2 no primeiro simulador do *Phet* e, a terceira integrante comenta sobre as ações do segundo simulador. Para apresentar a penúltima e última questão do produto didático, a segunda integrante do grupo retorna a apresentar, explicando, novamente, o passo-a-passo das resoluções das questões. Por fim, o grupo comenta de como foi trabalhar no decorrer desta trilha, expondo que trabalharam muito,

¹⁹ <https://phet.colorado.edu>

se encontraram, por meio de vídeos chamadas, inúmeras vezes e de que todos desenvolveram e discutiram todas as questões, algo que, segundo uma das alunas, ajudou muito no entendimento dos conteúdos abordados.

5.2.9.3 Grupo 3

O Grupo 3 (G3), diferente de seus antecessores, utilizou um documento de texto para sua socialização. Esse documento estava redigido com todas as questões e suas resoluções, passo-a-passo.

A apresentação iniciou com a aluna 5 apresentando as dificuldades do grupo e, logo de início, comentaram que tiveram dificuldade para entender a questão 7, não apenas a resolução dela, mas toda a situação contextualizada no enunciado. Após a explanação da dúvida, os integrantes do grupo pediram para que o professor explicasse o contexto da mesma.

A aluna 5 comentou que não tiveram dificuldades nas questões 1, 2, 3, 4, 5 e 6, mas não podiam dizer o mesmo sobre a parte experimental. As dificuldades apresentadas na parte experimental foram relacionadas a utilização das simulações e não sobre o conteúdo de Física. O grupo chamou de “dificuldade técnica”.

5.2.9.4 Grupo 4

O Grupo 4 (G4) também utilizou de um editor de texto, que continha todas as resoluções, para a socialização de suas atividades.

O G4 começou a sua apresentação com a aluna 6 fazendo a leitura das duas primeiras questões e explicando os desenhos feitos pelo grupo. Após a leitura das duas primeiras questões, o estudante 7 fez a leitura da questão 3, explicando o desenho e as equações demonstradas pelo grupo.

Por fim, um terceiro aluno, apresenta as contas das questões 7 e 8, relatando que consideraram essas duas questões como as mais complicadas da trilha de ensino, e, ao serem perguntados sobre a parte experimental, comentaram que os conceitos e contas foram realizados com mais facilidade, mas apresentaram dificuldades em lidar com os simuladores.

5.2.9.5 Grupo 5

O Grupo 5 (G5) optou por utilizar slides como ferramenta para socializar as atividades desenvolvidas durante essa trilha de ensino. A socialização começa com o aluno 10 apresentando os exercícios 1 e 2, em um único slide, mas ele não se ateve apenas a explicar o seu resultado, mas comentou sobre todos os conceitos abordados na Videoaula 01 – Conceitualização da Força Elástica.

Os próximos slides foram apresentados pelo aluno 11, que trouxe a resolução dos exercícios 3, 4, 5 e 6. O aluno foi muito detalhista, explicando o desenvolvimento das contas, que eram apresentadas por imagens, e descrevendo os pensamentos do grupo.

Um terceiro aluno, o aluno 9, apresentou os resultados da atividade experimental de uma maneira mais superficial, sendo seguido pelo aluno 10, que apresentou os desenvolvimentos das questões 7 e 8, finalizando a apresentação através de relatos da utilização das videoaulas e do material de apoio para a resolução das questões e que, quando possuíam dúvidas, conversavam com os outros grupos para buscar entender melhor as questões. Por fim, o aluno 7 comentou que a maior dificuldade do grupo apareceu na parte matemática do trabalho.

5.2.9.6 Grupo 6

O Grupo 6 (G6) também utilizou slides para socializar o seu trabalho, sendo que, de maneira detalhada e iniciando com o aluno 13, apresentando o grupo e as duas primeiras questões desenvolvidas no trabalho. Em seguida, o estudante 14 apresenta os resultados das questões 4, 5, 6 e 7, tendo participação e comentários do aluno 15, sempre complementado e relatando o raciocínio desenvolvido pelo grupo na produção das respostas.

O aluno 15 continua apresentando, mas agora, relata, de maneira detalhada, a parte experimental do trabalho, sendo seguido pela aluna 13 que apresenta os resultados das questões 7 e 8.

A apresentação termina com a aluna 13 comentando que gostaram de participar desse produto didático, ressaltando o como foi divertido – expressão utilizada pela aluna – a parte experimental, principalmente em lidar com as molas do simulador. Por fim, relatam que as dificuldades apareceram mais na questão 4, mas que conversaram entre si, com outros grupos

e sempre pediram auxílio ao professor, o que fez com que conseguissem desenvolver tudo e não ficassem com dúvidas.

5.2.9.7 Grupo 7

O Grupo 7 (G7), assim como seu antecessor, também utiliza de slides para apresentar o seu trabalho, começando com o aluno 16 apresentando o grupo e as duas primeiras questões do trabalho. Juntamente com as questões 1 e 2, o aluno 16 relatou que não tiveram dificuldades no desenvolvimento dessa parte. O estudante continua a apresentação relatando sobre o desenvolvimento das questões 3 a 6. Nessa parte, o grupo apresentou dificuldade apenas na questão 4, pois, segundo eles, “não se ligaram que tem um triângulo retângulo” no desenvolvimento da mesma.

Da parte experimental, o grupo considerou como “fácil e legal”, mas apresentou dificuldade na conversão da unidade medida metro para centímetro e comentou que dedicaram bastante tempo pensando e discutindo o tópico 25 desta parte.

Já nas questões 7 e 8, os alunos comentaram que consideraram essas questões como as mais difíceis de toda a trilha de ensino, mas, mesmo assim, conseguiram chegar nas conclusões esperadas. O G7, termina sua apresentação falando que consideraram as questões matemáticas mais complicadas que as questões conceituais.

6 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Durante o decorrer deste capítulo será feita a discussão e a análise dos resultados obtidos ao longo da aplicação, separando em blocos de maneira cronológica, seguindo a ordem da aplicação.

6.1 QUESTÕES 1 E 2

As questões 1 e 2 do material de apoio são derivadas da Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica e ambas as questões tinham como objetivo aferir se os alunos conseguiram entender, de maneira microscópica, a força elástica.

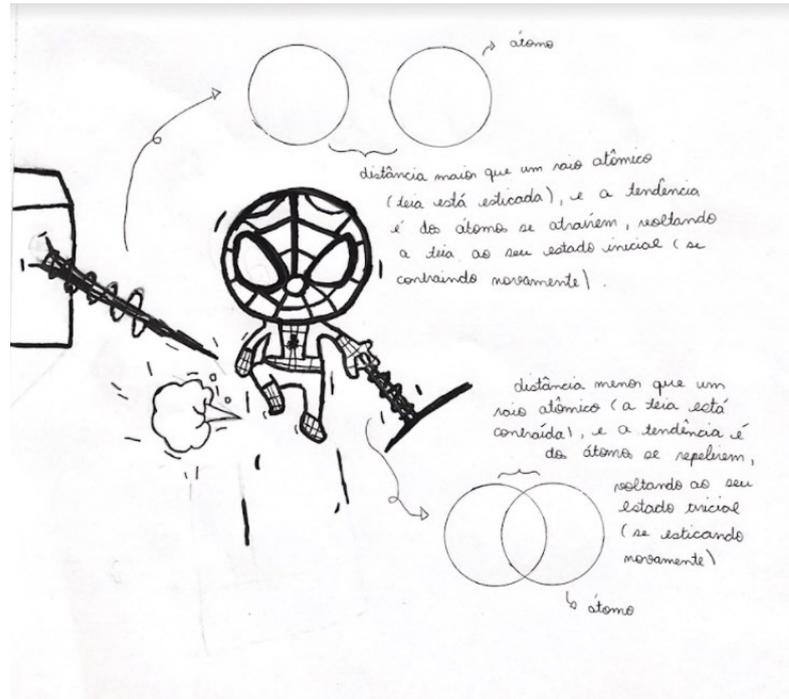
A primeira questão do produto didático pedia para que os alunos explicassem qual é a origem da força elástica e, de uma maneira geral, todos os grupos conseguiram determinar que a força elástica é uma força de origem eletromagnética. Além disso, todos os grupos apresentaram respostas que citavam as interações de atração e repulsão entre as moléculas que constituem um corpo.

Já a questão 2 do produto didático avaliava se os alunos haviam conseguido compreender a força elástica de maneira microscópica, diferenciando o equilíbrio, a atração e a repulsão eletromagnética em relação a distância entre os átomos, e ao se analisar as questões percebeu-se que todos os compreenderam essa relação.

Algo a ser destacado aqui é que cinco dos sete grupos não citaram apenas que a relação entre atração e repulsão dos átomos está ligada à distância, mas sim que a distância é relativa ao tamanho de um raio atômico, evidenciando que compreenderam que a interação é diretamente ligada ao tamanho do átomo.

Nessa questão, muitos grupos utilizaram de desenhos para expressar seus pensamentos, como é mostrado abaixo:

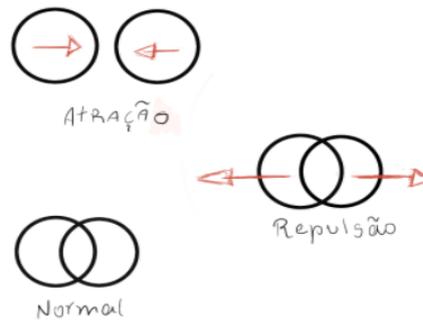
Figura 28 – Representação gráfica da questão dois pelo grupo 7.



FONTE: GRUPO 7 (2020).

Figura 29 – Representação gráfica da questão dois pelo grupo 3

2.

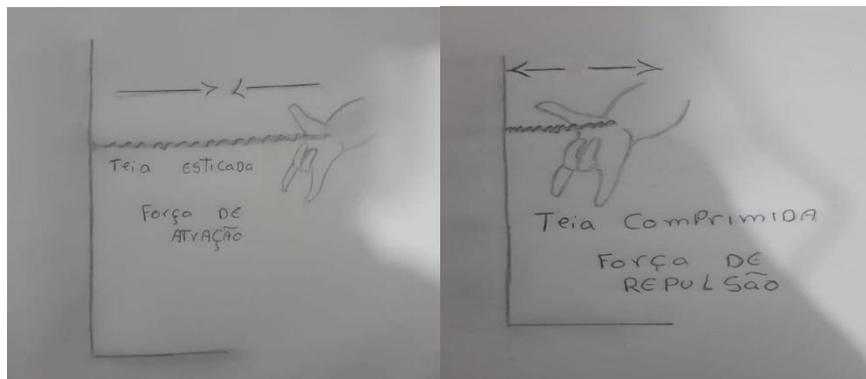


Quando os dois átomos são afastados por uma distância maior, existem uma atração entre os átomos e enquanto os átomo se afastam e ela retorna posição de equilíbrio.

Quandos os átomos estão mais próximos com a força de uma repulsão e retomando para a distância original do raio do átomo.

FONTE: GRUPO 3 (2020).

Figura 30 - Representação gráfica da questão dois pelo grupo 1



FONTE: GRUPO 1 (2020).

Através da análise das respostas das questões 1 e 2 do material de apoio e dos relatos feitos pelos grupos na socialização entende-se que os alunos alcançaram o aprendizado, compreendendo que a força elástica é derivada das interações eletromagnéticas entre átomos.

Por fim, após as análises, ambas as questões – questões 1 e 2 – se mostraram pertinentes e assertivas para o decorrer do produto didático, descartando a necessidade de alteração no produto didático e nos planejamentos.

6.2 QUESTÕES 3, 4, 5 E 6

As questões 3 a 6 do material de apoio são derivadas da Videoaula 02 – Matematização da força elástica e todas as questões tinham como objetivo aferir se os alunos aplicaram os conceitos e a matemática da força elástica.

A questão 3 do material didático consiste em os alunos expressarem de maneira conceitual a relação entre o sentido do deslocamento e da força elástica. Todos os grupos escreveram bons textos e mostraram que compreenderam que a força elástica e o deslocamento possuem os sentidos contrários.

A questão 4, que descrevia uma situação onde o Homem-Aranha pendurava-se de um prédio para o outro, pedia para que os grupos calculassem a constante elástica da teia do Aranha. A questão se mostrou com um grau de dificuldade maior do que o esperado, mas não de uma maneira ruim, onde os alunos não conseguiam compreender a questão ou responder a mesma, mas de uma maneira que eles precisam se ajudar, discutir e pesquisar. Todos os grupos alçaram a resolução da questão, chegando em um valor correto o que corrobora com a descrição e

apresentação da questão feita pelos grupos durante a atividade de socialização e demonstram que os grupos conseguiram adquirir a parte matemática da força elástica.

A questão 4 não se apresentou apenas como uma questão relevante para o produto didático, mas também como uma questão central que pode ser mais explorada.

Das questões 5 e 6, que eram questões de vestibulares e avaliavam a compreensão matemática da força elástica, os alunos não apresentaram nenhuma dificuldade em resolvê-las. Todos os grupos acertaram essas questões e, durante a socialização, evidenciaram essa facilidade na resolução. Essas duas questões, questão 5 e 6, se apresentaram pertinentes para o produto didático, pois elas demonstram que os alunos conseguiram aplicar os conhecimentos abordados em aulas em situações diferentes das apresentadas em sala.

6.3 ROTEIRO EXPERIMENTAL

O relatório experimental é dividido em duas partes, sendo a primeira uma parte mais conceitual, buscando que o aluno interaja com uma mola, observando a relação entre o sentido da força e o deslocamento da mola. Já a segunda parte do experimento é mais matemática, tendo a aplicação da lei de Hooke em sistemas massa-mola, e os alunos precisam descobrir a constante elástica e o módulo da massa pendurada no sistema.

Ao analisar as questões, em geral, ficou evidente que os grupos compreenderam os conceitos e a matemática da força elástica e conseguiram aplicar em uma situação experimental, pois 6 dos 7 grupos atingiram 100% de acerto, tendo êxito máximo. Apenas dois grupos apresentaram erros durante o relatório experimental. Aparentemente, um grupo não compreendeu o que era pedido nos tópicos 17, 19, 21 e 24 do relatório experimental, pois, em vez de calcular a massa dos objetos pendurados na mola, o grupo calculou a força elástica que a mola exerce ao ter o peso pendurado nela. Esse mesmo grupo também não apresentou as unidades de medidas durante todos os cálculos feitos nessa atividade, mas ao serem alertados, refizeram todas as contas, colocando as unidades de medida e calculando as grandezas físicas corretas. Por fim, apresentaram todo o novo desenvolvimento, de maneira correta, durante a socialização da atividade. O outro grupo que apresentou um erro durante o desenvolvimento da atividade experimental falhou em uma divisão durante o cálculo da constante elástica, o que gerou erro em todos os cálculos de massa dos tópicos 17, 19, 21 e 24 do relatório experimental. Algo a ser destacado é que o grupo acertou todo o processo físico, mas, por falta de atenção,

errou na matemática básica. Assim como o grupo anterior, ao serem alertados pelo professor, refizeram as contas para a socialização.

Levando em conta todas as respostas dos alunos durante a atividade, mais os relatos no processo de socialização, pode afirmar que essa etapa foi muito válida para o desenvolvimento do produto didático, sendo considerada pelos alunos a parte mais interessante dessa trilha. Ao olharmos para as respostas dos tópicos do relatório experimental, isso fica tão evidente quanto o socializado pelos alunos, pois todos apresentaram desenvolvimentos, raciocínios e conhecimentos físicos, fazendo assim ser possível o diagnóstico de que eles aprenderam os conceitos trabalhados até essa parte do produto didático.

6.4 QUESTÕES 7 E 8

As questões 7 e 8 do Material de apoio avaliavam se os alunos haviam conseguido compreender o conceito e a matemática que envolvem a tensão. A Questão 7, descrevia uma cena do filme Homem-Aranha de 2002, onde o herói precisa utilizar as suas teias para parar um trem que está em perigo. Já a questão 8, é uma questão do ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) de 2019, que aplica os conceitos de tensão em uma situação envolvendo o *Slackline*.

Em ambas as questões os grupos apresentaram um ótimo desempenho, acertando matematicamente as duas e apresentando uma linha de raciocínio muito coerente. Apenas 2 dos 7 grupos não apresentaram as unidades de medidas no resultado e durante a resolução, mas, numericamente, estavam corretos.

Os resultados corretos corroboram com as falas que os grupos fizeram durante a socialização, onde relataram que sentiam que haviam compreendido o conceito de tensão, além de não considerarem as questões como difíceis.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O panorama geral da educação está mudando, seja pelo fato de se ter alunos de uma nova geração que é nativa digital ou por uma obrigatoriedade proveniente de uma pandemia mundial. As aulas precisam ser mais atraentes, contextualizadas e que se relacionem emocionalmente com os alunos, mas sem deixar de desenvolver as habilidades e competências apresentadas em documentos oficiais.

A escolha de uma abordagem microscópica para explicação dos conceitos de força elástica e tensão se apresentou interessante e assertivo, pois durante a análise das questões 1 e 2 se percebeu um alto grau de compreensão do tema pelos estudantes. Aparentemente, a compreensão da origem do comportamento elástico dos corpos facilitou os alunos compreender que o sentido do deslocamento é contrário ao sentido da força aplicada pela mola, além de se tomar mais orgânica e linear a organização de raciocínio dos alunos. Podemos frisar também que a abordagem microscópica facilitou a transição entre a explicação da força elástica e dos conceitos de tensão, pois ambos os conceitos são abordados de maneira microscópica, fazendo com que os conceitos de força elástica e tensão se tornem mais contínuos em relação a sua abordagem, o que, possivelmente, facilita a sua compreensão.

Sabendo desse panorama geral da educação e confrontando a teoria de ensino-aprendizagem da Educação 4.0 com os resultados apresentados e analisados durante essa dissertação, percebe-se que o produto didático atingiu sua proposta, conseguindo explicar e desenvolver os conceitos de força elástica e tensão, de uma maneira microscópica com os alunos do primeiro do Ensino Médio do Colégio Universitário UNIDAVI. Algo importante a ser realçado é que o super-herói Homem-Aranha se mostrou extremamente válido como pano de fundo para a explicação desses conceitos, pois os alunos se mostraram envolvidos emocionalmente com ele, apresentando grande interesse no mesmo, além de que o herói se mostrou um agente que possibilita as questões desenvolvidas no produto didático.

A teoria de ensino-aprendizagem Educação 4.0 encaixou perfeitamente com o contexto vivido pelo mundo atualmente, pois ela possibilita e incentiva a utilização de ferramentas virtuais, frisando que a aprendizagem pode ocorrer fora dos muros das instituições de ensino, sem perder a qualidade da modalidade presencial.

Em relação aos resultados, conclui-se que os alunos aprenderam os conceitos de força elástica e tensão, seja pela quantidade de acerto ao longo das questões ou pelos relatos feitos

durante a socialização feita como última etapa desta sequência didática. Já, o material de apoio apresentou algumas lacunas, que podem ser melhoradas em uma nova aplicação, ficando como sugestão a remoção das questões 5 e 6 que não se mostraram pertinentes, pois ficaram descaracterizadas do restante do texto, além de abrir espaço para um melhor desenvolvimento da questão 4, que se apresentou como desafiadora e intrigante para os alunos, propiciando discussões e, por consequência, um aprendizado. Já o relatório experimental se mostrou interessantíssimo, seja pelos desenvolvimentos realizados pelos alunos ou pelos relatos durante a socialização. Muito provavelmente, essa interação direta com o objeto do conhecimento, que foi propiciada pelo relatório experimental, seja o fator que realçou tais resultados.

Por fim, o produto didático se mostrou válido na explicação dos conceitos de força elástica e tensão, podendo ser reaplicado em outras situações, seja em caráter remoto ou presencial, abrindo novas possibilidades de estudos, através de comparações entre ambas realidades ou buscando novos conceitos que possam ser estudados com o mesmo pano de fundo, como por exemplo, explicar como o Homem-Aranha poderia utilizar cargas elétricas para escalar paredes, ou relacionar tempo de reação com o seu “sentido aranha”, além de abrir precedentes para interdisciplinaridade com biologia, ao se estudar a aranha, com química, ao se estudar as interações moleculares, e com português, podendo abordar o gênero textual de histórias em quadrinhos.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, William D. **Fundamentals of Materials Science and Engineering**. 4. ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 952 p.

CARVALHO NETO, Cassiano Zeferino de. **Educação 4.0**: Princípios e práticas de inovação em gestão e docencia. 5. ed. São Paulo: Laborciencia Editora, 2019. 319 p.

BARJA, Paulo Roxo.; REDÍGOLO, Marcela L. **Homem-Aranha e o ensino de física**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XVI. Rio do Janeiro. 2005.

Efthimiou, C.; Llewellyn, R. **“Physics in Films”**: **New Approach to Teaching Science**. Physics Department University of Central Florida. Orlando, FL 32816. 2004.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Lições de física de Feynman**. edição definitiva. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 552 p. v. 1.

GAGLIONI, Cesar. **Filmes da Marvel ultrapassam a marca dos US\$ 12 bilhões em bilheteria**. Disponível em: <<https://jovemnerd.com.br/nerdnews/filmes-da-marvel-ultrapassam-marca-dos-us-12-bilhoes-em-bilheteria/>>. Acesso em: 29 mai. 2018a.

GONZAGA, Luiziana A. et al. **A física dos super-heróis de quadrinhos (HQ)**. Caderno de Física da UEFS, Bahia, p. 7-30, jul. 2014.

KITTEL, Charles. **Introdução à Física do Estado Sólido**. 8. ed. Nova York: Ltc, 2006. 594 p.

IMDB. Box Office Mojo. **ALL TIME RECORDS**. Disponível em: <<http://www.boxofficemojo.com/alltime/?page=byrecord&p=.htm>>. Acesso em: 29 mai. 2018b.

OMELETE. A COZINHA. **Com vingadores: Ultimato no topo: confira as 10 maiores bilheterias da história**. Disponível em: <<https://www.omelete.com.br/marvel-cinema/vingadores-ultimato-endgame/vingadores-ultimato-10-maiores-bilheterias-da-historia#4>>. Acesso em: 18 jun. 2020.

IMDB. Box Office Mojo. **Bilheteria anual**. Disponível em: <<http://www.boxofficemojo.com/yearly/?sort=totaltickets&order=DESC&p=.htm>> Acesso em: 29 mai. 2018a.

IMDB. Box Office Mojo. **Brazil Box Office Index**. Disponível em: <<http://www.boxofficemojo.com/intl/brazil/?currency=us&yr=2018&p=.htm>>. Acesso em: 29 mai. 2018c.

JAMES, Kakalios. **The Physics of Superheroes**. New York: Gotham Books, 2005. 356 p.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de FÍSICA BÁSICA: MECÂNICA**. 4. ed. São Paulo: EDITORA EDGARD BLÜCHER LTDA, 2002. 336 p. v. 1.

OLIVEIRA, Luciano Denardin de. **A super-física dos super-heróis: projetos, física e super-poderes**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XVI. Rio do Janeiro. 2005.

OLIVEIRA, Luciano Denardin de. **Aprendendo física com o Homem-Aranha: Utilizando cenas do filme para discutir conceitos de física no Ensino Médio**. Física na Escola, [S.l.], v. 7, n. 2, p. 79-83. 2006.

OLIVEIRA, Tobias Espinosa de; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Aprendizagem Baseada em Equipes (Team-Based Learning): um método ativo para o Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s.l.], v. 33, n. 3, p.962-986, 15 dez. 2016. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p962>.

SILVA, André Coelho da. **Eletromagnetismo e o anti-herói Magneto: Uma possível abordagem no Ensino Médio**. Revista de Ensino de Ciências e Matemática, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 125-135, fev. 2012.

SOUSA, Camila. **Bilheteria Brasil | Carros 3 não faz boa estreia e Homem-Aranha: De Volta ao Lar continua na liderança**. Disponível em: <<https://omelete.uol.com.br/filmes/noticia/bilheteria-brasil-carros-3-nao-faz-boa-estreia-e-homem-aranha-de-volta-ao-lar-continua-na-lideranca/>>. Acesso em: 29 mai. 2018.

APÊNDICE A – PRODUTO DIDÁTICO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Vinicius Andre Guckert Marquez

**UMA ABORDAGEM MICROSCÓPICA DA TENSÃO E FORÇA ELÁSTICA
POR MEIO DO HOMEM-ARANHA**

BLUMENAU – SC

2021

VINICIUS ANDRE GUCKERT MARQUEZ

**UMA ABORDAGEM MICROSCÓPICA DA TENSÃO E FORÇA ELÁSTICA
POR MEIO DO HOMEM-ARANHA**

BLUMENAU – SC

2021

SUMÁRIO

<u>APRESENTAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>1. SEQUÊNCIA DIDÁTICA</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>2. TEXTO DE APOIO</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>2.1 FORÇA ELÁSTICA</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>2.2 TRAÇÃO</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>REFERÊNCIAS</u>	Erro! Indicador não definido.
<u>APÊNDICE A – ROTEIRO EXPERIMENTAL</u>	Erro! Indicador não definido.

APRESENTAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO

Caro(a) professor(a), por meio de uma revisão bibliográfica, fica evidente que o método tradicional de lecionar Física traz pouca relação com o cotidiano dos estudantes, sendo engessado, extremamente matemático e, inúmeras vezes, monótono, gerando uma falta de interesse do aluno e se tornando uma barreira no processo de ensino-aprendizagem.

Então, faz-se necessária a utilização de estratégias que aproximem o conteúdo com a realidade do aluno, deixando assim, as aulas mais interessantes e divertidas, fazendo florescer um interesse pela Física no estudante, quebrando essa barreira epistemológica.

O presente produto didático busca alcançar tal conquista, aproximando os conceitos de Física ao cotidiano dos alunos, através da utilização do Homem-Aranha como pano de fundo para fazer uma abordagem microscópica dos conceitos de tração e força elástica.

Além de possuir uma roupagem diferente para abordar os conceitos citados a cima, esse produto didático possui uma recomendação de metodologia ativa para sua aplicação. Dessa maneira, podemos alcançar um dinamismo diferente das aulas tradicionais, fazendo com que o aluno interaja diretamente com os conceitos Físicos e o(a) professor(a) deixe o protagonismo de lado, se tornando um(a) mediador(a).

Como descrito por Carvalho Neto (2019), a teoria pedagógica escolhida para a aplicação do produto é Educação 4.0, uma teoria de ensino-aprendizagem que se baseia em 4 pilares centrais: a Contextualização; a Problematização; a Interação; e a Socialização.

Resumidamente, a Contextualização é onde os conceitos são apresentados ao aluno, mas essa apresentação deve estar vinculada a emoção do aluno. O Homem-Aranha vem para suprir essa necessidade de relacionar emotivamente os conceitos com o sujeito.

A problematização na premissa que a “produção de conhecimento está diretamente relacionada à resolução de problemas” (CARVALHO NETO, 2019), então, durante a sequência didática, os alunos serão colocados para resolver problemas durante experimentos práticos e exercícios teóricos.

Já a interação e a socialização estão intimamente interligadas. A interação se refere aos alunos interagirem entre si e com os objetos de conhecimento. Já a socialização é o momento onde os alunos podem expor o que aprenderam e o que construíram. Esses dois pilares do aprendizado são de extrema importância pois, segundo Carvalho Neto (2019), “a produção do conhecimento e sua socialização pressupõe a interatividade entre sujeito e objeto e sujeito-sujeito e, por essa razão, deve ser considerada na perspectiva de um processo construtivo na visão epistemológica que o sustenta”.

Este produto didático é dividido conforme descrito a seguir. Na seção 1 é proposta uma sequência didática para auxiliar o(a) professor(a) na abordagem microscópica dos temas tensão e força elástica no contexto do personagem Homem-Aranha. Como esta sequência didática propõe abordagens que não são usualmente realizadas no ensino médio, a seção 2 constitui-se de um texto de apoio ao professor para auxiliá-lo nesta tarefa. Com isto, o(a) professor(a) terá segurança para discutir cada etapa da sequência didática com seus alunos. Um roteiro para atividade experimental virtual é disponibilizado no Apêndice.

1. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Com base na Educação 4.0 e em revisões bibliográficas sobre metodologias ativas se elaborou a seguinte sequência didática:

MOMENTO	ETAPA	TEMPO
1	Apresentação da proposta didática aos alunos. ¹	1 h/a
2	Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica.	6 min
3	<i>feedback</i> dos conceitos apresentados na Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica.	1 h/a
4	Videoaula 02 – Matemática da força elástica.	8 min
5	<i>feedback</i> dos conceitos apresentados na Videoaula 02 – Matemática da força elástica.	1 h/a
6	Experimento.	1 h/a
7	Videoaula 03 – Tensão.	7 min
8	<i>feedback</i> dos conceitos apresentados Videoaula 03 – Tensão.	1 h/a
9	Socialização.	2 h/a

¹ caso houver tempo, o professor pode iniciar o momento 2 da sequência didática.

O **primeiro momento** é a apresentação da proposta didática aos alunos: No primeiro momento da aula, o professor deve expor aos alunos que as próximas 5 aulas serão feitas por meio de uma metodologia ativa chamada sala de aula invertida, onde os estudantes irão assistir videoaulas antes de ir para a aula e que o período da aula será reservado para tirar dúvidas e para a aplicação dos conceitos trabalhados nas videoaulas. O docente precisa incentivar e expor a importância de se assistir as videoaulas aos alunos, explicando que esses vídeos são fundamentais para o funcionamento da metodologia. Por fim, o professor pode expor que no decorrer das videoaulas serão trabalhando os conceitos de força de elástica e tensão por meio de uma abordagem microscópica.

O **segundo momento** é a indicação da [Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica](#), onde os alunos irão assistir a aula em casa, como tarefa.

O **terceiro momento** consiste em fazer um feedback dos conceitos apresentados na [Videoaula 01 – Conceitualização da força elástica](#) utilizando o texto de apoio. É importante que esse feedback se de inicie pelas dúvidas dos estudantes e, a partir dos questionamentos, o professor percorra todos os conceitos. Após o feedback, o professor irá separar os estudantes em grupos de 4 ou 5 integrantes e irá aplicar as atividades do “VAMOS PRATICAR I” que se encontra na página 16 do texto de apoio (tópico 2, página 8).

O **quarto momento** é a indicação da [Videoaula 02 – Matemática da força elástica](#), onde os alunos irão assistir a aula em casa, como tarefa.

Já o **quinto momento** é o feedback dos conceitos apresentados na [Videoaula 02 – Matemática da força elástica](#) utilizando o texto de apoio. É importante que esse feedback se de inicie pelas dúvidas dos estudantes e, a partir dos questionamentos, o professor percorra todos os conceitos. Após o feedback, o professor irá separar os alunos em grupos de 4 ou 5 alunos e irá aplicar as atividades do “VAMOS PRATICAR II” que se encontra nas páginas 22 e 23 do texto de apoio.

O **sexto momento** consiste em uma atividade experimental virtual (APÊNDICE I), onde os alunos receberão um roteiro estruturado para experimentar e visualizar os conceitos aprendidos durante as duas primeiras aulas.

O **sétimo momento** consistem em indicar a [Videoaula 03 – Tensão](#), onde os alunos irão assistir a aula em casa, como tarefa.

No **oitavo momento** será feito o último feedback dos conceitos apresentados na [Videoaula 03 – Tensão](#) utilizando o texto de apoio. É importante que esse feedback se de inicie pelas dúvidas dos estudantes e, a partir dos questionamentos, o professor percorra todos os conceitos. Após o feedback, o professor irá separar os alunos em grupos de 4 ou 5 alunos e irá aplicar as atividades do “VAMOS PRATICAR III” que se encontra nas páginas 28 e 29 do texto de apoio.

Por fim, o **nono momento** é a socialização, que será realizada por meio de slides, vídeos ou apresentação oral, onde as equipes deverão expor os resultados, dificuldades e aprendizados que tiveram durante as atividades “VAMOS PRATICAR” I, II e III e do relatório experimental.

2. TEXTO DE APOIO

Caro(a) professor(a), esta seção traz um texto de apoio para ser trabalhado com os estudantes nas diversas etapas da sequência didática.

Sendo narrado pelo super-herói Homem Aranha, esse material trabalha conceitos de **força elástica e tensão, que são posteriormente problematizados no contexto do próprio personagem.**

Além de trazer o Homem-Aranha como contextualização para os conceitos, se decidiu optar por uma abordagem microscópica na hora de apresentar os conceitos de força elástica e tensão. Então, iremos construir o conhecimento juntamente com o aluno, partindo da interação molecular para compreender o comportamento das molas e objetos que são tracionados.

Para um melhor entendimento dos conceitos abordados durante esse texto de apoio recomenda-se que o estudante já tenha estudando as Leis de Newton e Força Peso, além de ter noção da atração e repulsão elétrica, pois será partido desses conceitos para definição de outros. Embora eletricidade seja estudada no 3º ano do Ensino Médio, alguns conceitos básicos são introduzidos já no 9º ano.

Por fim, é necessário expor que esse material NÃO deve ser comercializado e nem busca monetização, pois é utilizado como um meio de divulgação científica, sem fins lucrativos.

2.1 FORÇA ELÁSTICA

Oi, eu sou o Peter Parker, mais conhecido como Homem-Aranha. Hoje eu vim te explicar um pouco sobre como funcionam as minhas teias.



Figura 31 - Homem-Aranha (1).

Fonte: print screen do jogo MARVEL SPIDER-MAN, INSOMNIAC GAMES.

Até hoje, os cientistas estão tentando descobrir o funcionamento exato das minhas teias. Mas, para simplificar as coisas, vamos imaginar que elas funcionam de forma muito parecida às molas como essa representada na figura 2. Fique tranquilo quanto a essa aproximação, pois aproximar o comportamento das minhas teias com o comportamento de uma mola é algo muito válido.

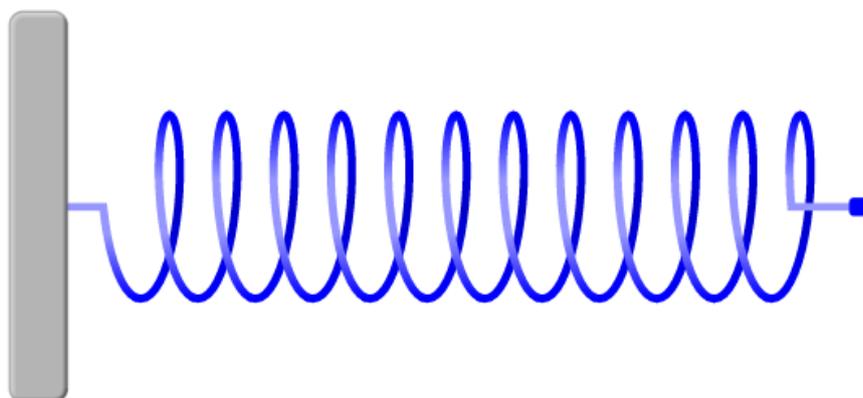


Figura 2 - Mola.

Fonte: print screen PhET – Lei de Hooke.

Com isso em mente, podemos começar a falar sobre forças fundamentais. Existem apenas quatro forças fundamentais no Universo: força eletromagnética, força gravitacional, força nuclear forte e nuclear fraca. Todas as outras forças são derivadas dessas quatro.

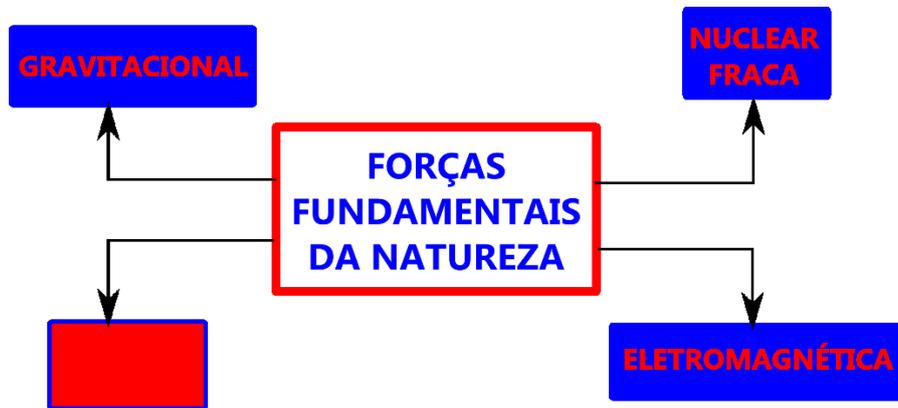


Figura 3 – Diagrama das forças fundamentais.

Fonte: print screen do Filme Homem-Aranha: De Volta ao Lar.

Uma pergunta rápida do Homem-Aranha: de qual dessas 4 forças fundamentais são derivadas as forças que explicam o funcionamento das minhas teias?

Se você escolheu força nuclear fraca você está errado!!! A força elástica e a tensão, forças que explicam o funcionamento das minhas teias, são derivadas da força eletromagnética.



Figura 4 – Homem-Aranha (2).

Fonte: print screen do Filme Homem-Aranha: De Volta ao Lar.

Mas como isso é possível?

A força elástica e a tensão são provenientes da força eletromagnética que há entre as moléculas que constituem a teia ou qualquer outro corpo existente no Universo. Vamos a um exemplo: o sal de cozinha ($NaCl$) é composto átomos de sódio (Na^+), que é um íon positivo e de cloreto (Cl^-) que é um íon negativo. Isso gera uma força de atração eletromagnética entre esses os dois elementos químicos (NUSSENZVEIG, 2002), como representa a figura abaixo:



Figura 5 - Atração eletromagnética entre dois íons de cargas opostas.

Fonte: O autor.

Mas você deve estar se questionando: a teia que eu uso é feita de sal? Não, a minha teia é formada por vários elementos (hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e carbono), mas o princípio é o mesmo!

Cada molécula é eletricamente neutra, mas, mesmo assim, ao aproximarmos duas moléculas haverá uma atração eletromagnética devido a distribuição de suas cargas (NUSSENZVEIG, 2002), como é representada pela figura 6.

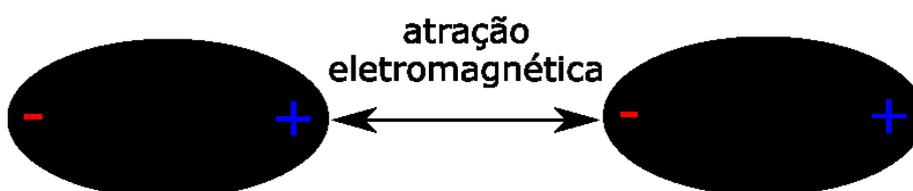


Figura 6 - Atração eletromagnética entre duas moléculas neutras.

Fonte: O autor.

Vou ressaltar que a mesma ideia é válida para os átomos, já que as moléculas são formadas por um aglomerado de $6 \cdot 10^{23}$ átomos.



Figura 7 - Vídeo complementar sobre a teia.

Fonte: print screen do canal Nerdologia.

Então, quando esticamos a teia, assim como quando esticamos uma mola, ela retorna para a sua forma original, pois as moléculas que constituem esse corpo se atraem.

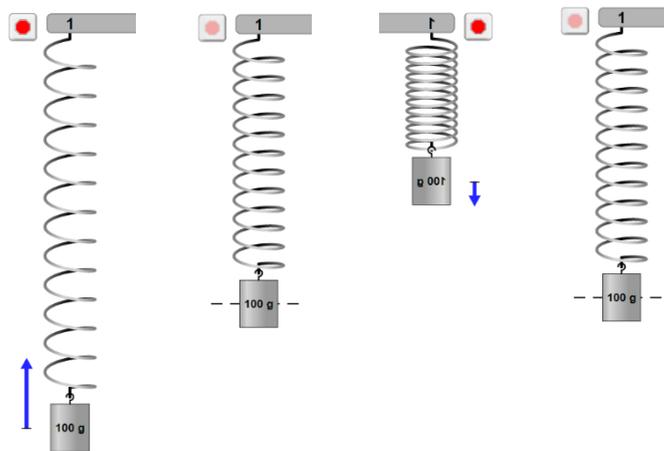


Figura 8 - Molas.

Fonte: print screen PhET – Massas e Molas.

Mas e o movimento que a teia faz quando ela é contraída?



Figura 9 – Homem-Aranha (3).

Fonte: print screen do Filme Homem-Aranha no Aranhaverso

Se contrairmos a teia ela também vai voltar a sua posição de equilíbrio, algo que não faz sentido se pensarmos só na atração eletromagnética descrita antes. Pois, se eu comprimir minha teia a atração eletromagnética deveria fazer com a teia permanecesse nesse estado, mas existe uma outra força atuando nesse problema...

Nem a teia nem uma mola ficam comprimidas, pois se diminuirmos a distância entre duas moléculas, chegando uma distância com a ordem de grandeza de um raio atômico (r_0), a atração eletromagnética se torna uma repulsão, pois temos o Princípio de Exclusão de Pauli, que nos diz que dois férmions idênticos não podem ocupar o mesmo estado quântico simultaneamente, fazendo então, que quando duas nuvens eletrônicas de dois átomos começam a se sobrepor, uma interação repulsiva surge. Vou deixar um gráfico para exemplificar o que acabei de falar:

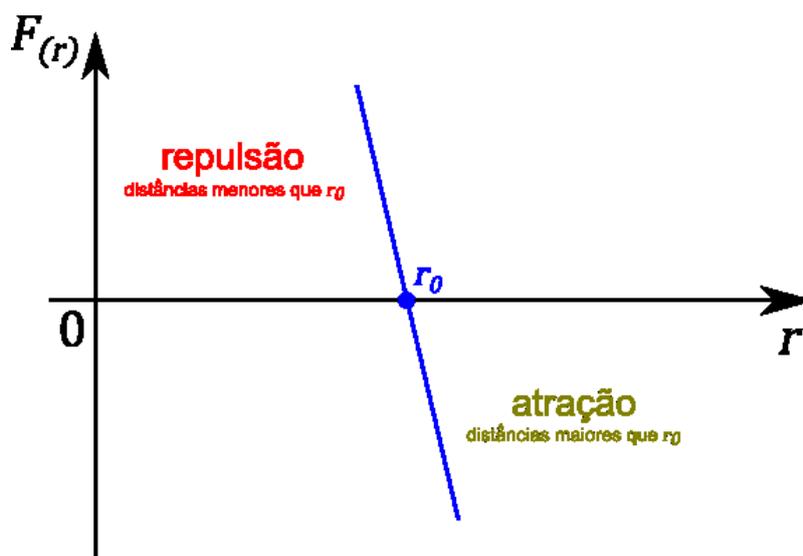


Figura 10 - Gráfico da interação eletromagnética em função da distância (r) entre duas moléculas.

Fonte: O autor.

Então, quando duas moléculas estão afastadas por uma distância maior que r_0 , pontos a direita do gráfico, existe uma atração eletromagnética entre as moléculas (*Figura 11*), fazendo com que quando a teia for esticada ela retorne à posição de equilíbrio, que é o r_0 . Note que o gráfico da força em função da distância é linear, sendo que voltaremos a essa informação mais adiante.

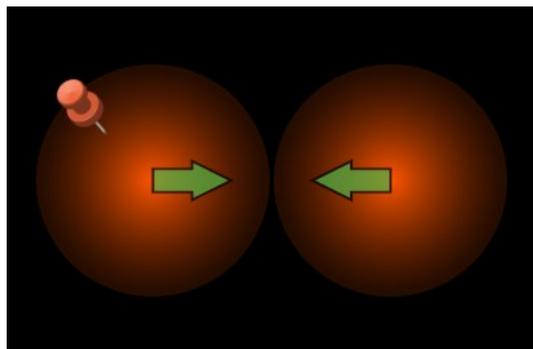


Figura 11 – Atração eletromagnética (átomos separados por uma distância maior que r_0).

Fonte: print screen PhET – Interações Atômicas.

Agora quando as moléculas estão muito próximas, com distâncias menores que o tamanho de um raio atômico, as moléculas sofrem uma repulsão eletromagnética, fazendo com que quando a teia, que está comprimida, retorne ao tamanho inicial (Figura 12).

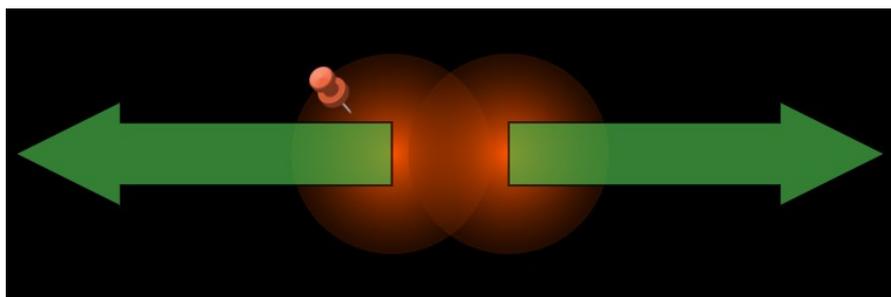


Figura 12 – Repulsão eletromagnética (Átomos separados por uma distância menor que r_0).

Fonte: print screen PhET – Interações Atômicas.

Dessa maneira, o r_0 é a distância na qual as forças se anulam, não havendo nem atração ou repulsão eletromagnética. Por isso que chamamos r_0 de ponto de equilíbrio.

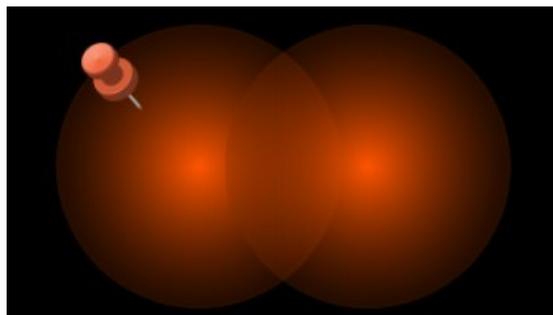


Figura 13 – Ponto de equilíbrio (Átomos separados por uma distância igual a r_0).

Fonte: print screen PhET – Interações Atômicas.

É essa variação entre atração e repulsão eletromagnética que faz com que a minha teia tenda a voltar para seu estado inicial (posição de equilíbrio) sempre que for esticada ou comprimida. Isso permite que eu me balance de prédio em prédio, consiga lutar com meus inimigos e salvar pessoas.

Algo muito importante que eu não posso deixar de lembrar é que essa força que faz a minha teia sempre retornar a sua posição inicial é proporcional, de maneira linear, ao quanto esticada ou comprimida a teia está. Dessa maneira, quanto mais esticada, maior é o módulo da força que “puxa” a teia para a sua posição de equilíbrio; E quanto mais comprimida a teia estiver, maior é a força que “empurra” a teia de volta para a sua posição de equilíbrio. Já que essa força pode descrever o comportamento de uma mola, ela recebe o nome de força elástica (\vec{F}_{el}).

Por fim, perceba que a força elástica que atua na minha teia é sempre de sentido contrária ao movimento sofrido pela própria teia, então se o deslocamento é para a direita, a força aponta para a esquerda. Já se o deslocamento for para a esquerda, a força aponta para a direita.

VAMOS PRATICAR I

1. Existem apenas quatro forças fundamentais no Universo: força eletromagnética, força gravitacional, força nuclear forte e nuclear fraca. Todas as outras forças são derivadas dessas quatro. Até mesmo a força elástica, que é a força que explica o comportamento das teias do Homem-Aranha, é derivada de uma dessas quatro forças fundamentais. Faça um

pequeno texto explicando como é possível que a força eletromagnética seja a força fundamental que dá origem a força que explica o funcionamento das teias do Homem-Aranha, sabendo que a teia se comporta como uma mola ideal, podendo ser comprimida ou esticada, mas sempre tendendo a retornar a sua posição de equilíbrio. Ps: você pode incluir desenhos para complementar seu texto.

2. Quando duas moléculas que formam a teia do Homem-Aranha estão afastadas por distâncias maiores que a de um raio atômico, existe uma atração eletromagnética entre as moléculas, fazendo com que quando a teia for esticada ela retorne à posição de equilíbrio. Agora quando as moléculas da teia estão muito próximas, com distâncias menores que o tamanho de um raio atômico, as moléculas sofrem uma repulsão eletromagnética, fazendo com que quando a teia, que está comprimida, retorne ao tamanho inicial. Explique, através de desenhos, texto ou gráficos porquê esse fenômeno ocorre com as molas e com a teia do Homem-Aranha.

Bem, agora que você já sabe como funciona a minha teia, precisamos aprender a matematizar essa força, pois assim podemos prever seus comportamentos e evitar tragédias como a que acabou com a morte da minha ex-namorada Gwen Stacy – nif sniff – mas, como isso ocorreu em 1973 e atualmente ela está viva (isso é muito comum no Universo dos quadrinhos), usei essa tragédia como aprendizado para melhorar minha teia sem ficar triste.



Figura 14 – Homem-Aranha (4).

Fonte: print screen do Filme Homem-Aranha: De Volta ao Lar.

Então, nas proximidades de r_0 , região em destaque no gráfico (*Figura 10*), a curva que descreve a força de atração e repulsão pode ser aproximada a uma reta – viu!? Na página 13 eu falei que a gente voltaria a esse assunto.

Você se lembra como é descrita a equação da reta?

Vamos relembrar aqui rapidinho: $y = ax + b$

A equação da reta, $y = ax + b$, descreve o fenômeno, mas na Física o pessoal traz um sentido específico para cada elemento de uma equação. Se você olhar para o gráfico da figura 10 vai perceber que o y da equação da reta se refere a força de atração ou repulsão, que chamaremos de força elástica. O coeficiente de inclinação da reta a é negativo e a sua inclinação depende dos elementos químicos que formam as moléculas que estão atraindo ou repelindo, que chamaremos de constante elástica. O eixo x representa a distância entre as moléculas. Dessa maneira o um Físico chamado de Robert Hooke (esse não era verde e irritado) conseguiu reescrever a equação da reta, como:

$$\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$$

Onde \vec{F}_{el} é a força elástica, dada em N no SI; k é a constante elástica, dada em N/m no SI; \vec{x} é a deformação da mola em relação a posição de equilíbrio, medida em m no SI.

Como dito antes, algo muito importante a ser destacado é que a força elástica sempre tem mesma direção que o deslocamento, mas o sentido é sempre o contrário, como mostra a imagem a seguir:

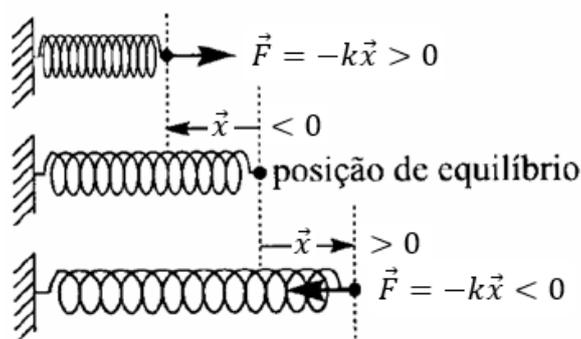


Figura 15 – Lei de Hooke.

Fonte: (NUSSENZVEIG, 2002, p. 86), Adaptado pelo autor.

Então, se a mola é esticada para a direita, a força elástica terá o sentido da esquerda. Agora se a mola for esticada para a esquerda, a força elástica terá o sentido da direita (*Figura 15*). Sempre com sentido oposto ao deslocamento, pois essa é uma força restauradora.

Agora que discutimos a parte conceitual e a parte matemática da força elástica, podemos analisar o acidente que levou a morte da minha ex-namorada:

Durante uma das minhas aventuras, o Duende Verde sequestrou a Gwen Stacy e a jogou de cima do alto da torre da ponte George Washington, como mostra essa tirinha:



Figura 16 – Morte da Gwen Stacy.

Fonte: A Noite em que Gwen Stacy Morreu, The Amazing Spider-Man #121-122

Mesmo conseguindo salvá-la da queda, Gwen Stacy acaba falecendo.... Não foi a queda que a matou, mas a forte aceleração imprimida pela teia acabou causando a morte da minha ex-namorada.... Não se esqueça que atualmente ela está viva.

Na época a minha teia era confeccionada com um material de constante elástica igual 550 N/m , o que fez ela esticar cerca de 10 m após grudar na Gwen o que gerou uma forte aceleração.

Para que isso nunca mais se repetisse, tive que calcular qual a desaceleração que a matou. Vou demonstrar os cálculos para vocês, mas antes de ir para a desaceleração, temos que calcular a força elástica exercida pela teia:

Vamos partir da equação da força elástica:

$$\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$$

Agora vamos substituir a constante elástica k por 550 N/m e a deformação da mola \vec{x} por 10 m , pois foi o deslocamento que a mola sofreu após prender na Gwen:

$$F_{el} = -550 \text{ N/m} \cdot 10 \text{ m}$$

Multiplicando:

$$F_{el} = -5500 \text{ N}$$

O resultado da força elástica é negativo, pois isso representa que a força aponta para o sentido contrário do movimento, como foi mostrado na *Figura 14*.

Pronto, agora podemos calcular a aceleração sofrida pela Gwen através da força resultante.

Mas, para calcular a força resultante temos que partir do diagrama de forças que atuam na Gwen Stacy durante a sua queda (*Figura 17*). Por sorte eu sempre carrego papel e caneta comigo, mas peço desculpas por não ser um bom desenhista...

Para saber mais acesse ao vídeo do Khan Academy sobre [Introdução às e a Lei de Hooke](#).

A boneca em preto representa a minha ex-namorada, o vetor \vec{F}_{el} em azul representa a força elástica causada pela teia e o vetor \vec{g} em amarelo representa a aceleração da gravidade que atuava nela durante a queda.

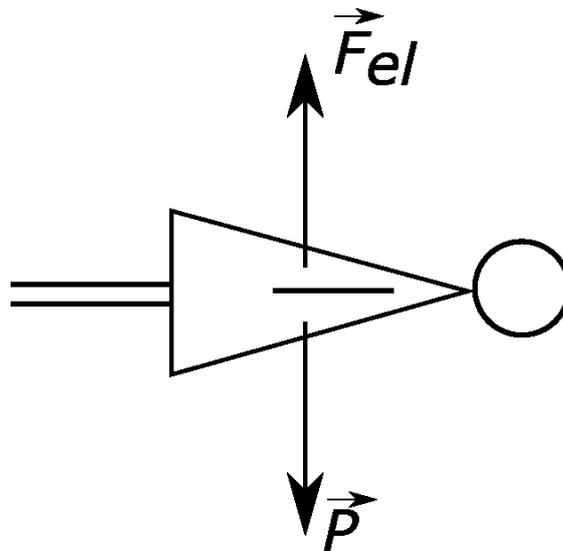


Figura 17 – Diagrama de forças na morte da Gwen Stacy.

Fonte: O autor.

Analisando o diagrama de forças temos que:

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

Onde a força resultante (\vec{F}_R) é a soma de todas as forças que atuam no sistema, então como atuam a força elástica (\vec{F}_{el}) e a força peso (\vec{P}) temos que:

$$\vec{F}_{el} + \vec{P} = m\vec{a}$$

Onde P é a força peso que é gerada pelo produto da massa e da aceleração da gravidade.

$$\vec{F}_{el} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

Sabendo que a força elástica foi de -5500 N , que a massa da Gwen é aproximadamente 50 kg e, como estamos na Terra, \vec{g} é aproximadamente de 10 m/s^2 , temos que:

$$F_{el} + m \cdot g = m \cdot a$$

$$-5500 \text{ N} + 50 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 50 \text{ kg} \cdot a$$

$$-5500 \text{ N} + 500 \text{ N} = 50 \text{ kg} \cdot a$$

$$-5000 \text{ N} = 50 \text{ kg} \cdot a$$

$$\frac{-5000 \text{ N}}{50 \text{ kg}} = a$$

$$a = -100 \text{ m/s}^2$$

Isso significa que a Gwen Stacy sofreu uma aceleração de 100 m/s^2 no sentido contrário ao do seu movimento. Essa aceleração é equivalente a, aproximadamente, $10 \text{ g}'s$, o que seria mais que o suficiente para quebrar o pescoço dela.

Percebam que se a constante elástica da teia fosse diferente eu poderia ter salvo minha ex-namorada.... Que tal você utilizar os conceitos que aprendeu até aqui para salvar a Gwen? Calcule o valor ideal de k para que, nos mesmos 10 metros de deformação, ela fique sã e salva. Não se esqueça de pesquisar qual é a aceleração máxima que um ser humano pode sofrer.

Para aprender um pouco mais sobre os meus outros poderes você pode assistir ao excelente vídeo abaixo.



Figura 18 – Os poderes do Homem-Aranha.

Fonte: print screen do Nerdologia.

VAMOS PRATICAR II

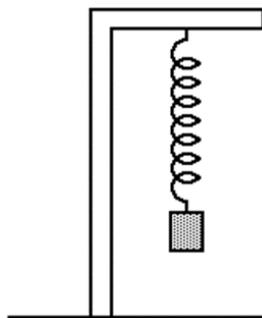
3. A teia que o Homem-Aranha utiliza para se balançar de um lado para o outro ou para lutar contra vilões precisa esticar e comprimir, tendo o seu comportamento aproximado ao de uma mola ideal. Dessa maneira, o amigão da vizinhança pode utilizar a Lei de Hooke ($\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$) para fazer algumas previsões e melhorar a sua teia, diminuindo o risco de se pendurar em um prédio e acabar batendo no chão ou de não conseguir prender um inimigo que colocou sua namorada em perigo. Sabendo que \vec{F}_{el} é a força elástica, dada em N no SI; k é a constante elástica, dada em N/m no SI; \vec{x} é a deformação da mola em relação a posição de equilíbrio, medida em metros (m) no SI, escreva um pequeno texto para o Homem-Aranha explicando quais são as relações entre força e deslocamento que a Lei de Hooke nos fornece?

4. O Homem-Aranha está no topo do Empire State Building (prédio de 102 andares que se encontra no centro de Nova York), mas precisa ir para a Torre dos Vingadores (quartel general dos heróis que possui 202 andares) para receber as informações da sua próxima missão. Os prédios são vizinhos e separados por uma distância de 20 m. Qual deve ser a constante elástica da teia do Homem-Aranha para que ele possa saltar de topo do Empire State Building e ir até a Torre dos Vingadores sem que se arraste no chão? Considere a massa do Homem-Aranha igual a 65 kg, a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e que o herói joga a sua teia do ponto mais alto do Empire State Building até o ponto mais alto da Torre dos Vingadores.

5. (G1 - ifsul 2018) Se você esticar uma mangueira de borracha e soltá-la, poderá observar um pulso movendo-se para cima e para baixo da mangueira. O que acontecerá com a velocidade desse pulso se você esticar a mangueira com mais força?

- a) Aumentará.
- b) Diminuirá.
- c) Permanecerá constante.
- d) Mudará de forma imprevisível.

6. (Uel) Certa mola helicoidal, presa num suporte vertical, tem comprimento de 12 cm. Quando se prende à mola um corpo de 200 g ela passa a medir 16 cm.



Dado:
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

A constante elástica da mola vale, em N/m,

- a) 5,0
- b) $5,0 \cdot 10$
- c) $5,0 \cdot 10^2$
- d) $5,0 \cdot 10^3$
- e) $5,0 \cdot 10^4$

2.2 TRAÇÃO

Em algumas situações eu posso precisar que a minha teia não estique, pois isso pode gerar uma consequência muito ruim, como, por exemplo, acabar comigo me arrastando no chão.

Para criar uma teia ou um corpo inextensível (palavra que a Física usa para dizer que algo não estica, nem contrai) temos que imaginar que as moléculas que constituem a teia permaneçam fixas em r_0 . Dessa maneira não haverá uma elasticidade da teia e, por consequência, não haverá uma força restauradora. Na situação que acabei de descrever, a força aplicada na teia inextensiva é denominada de tração.

Algo que preciso avisar é que corpos inextensíveis são apenas um modelo, pois nada na natureza é realmente inextensível. Todos os corpos possuem propriedades elásticas, mesmo que muito pequenas.

Agora, para entendermos melhor o conceito de tração, vamos analisar uma foto minha onde estou pendurado por uma teia inextensível:



Figura 19 – Homem-Aranha Pendurado.

Fonte: print screen do jogo MARVEL SPIDER-MAN, INSOMNIAC GAMES.

Como eu estou em um planeta onde há a ação da força gravitacional, vamos desenhar a força peso atuando em mim nessa foto:



Figura 20 – Homem-Aranha Pendurado + Força Peso.

Fonte: print screen do jogo MARVEL SPIDER-MAN, INSOMNIAC GAMES.

Como eu me encontro em equilíbrio estático (“nem caindo, nem voando”), há a necessidade de se ter uma força atuando no sentido contrário ao da força peso. Essa força, que é exercida pela teia inextensível, é denominada de tração:



Figura 21 – Homem-Aranha Pendurado + Força Peso + Tensão.

Fonte: print screen do jogo MARVEL SPIDER-MAN, INSOMNIAC GAMES.

Como eu estou em repouso em relação a superfície da Terra, a força resultante (\vec{F}_R) que atua sobre mim é nula, pois eu estou em equilíbrio estático. Dessa maneira, temos que a tração é numericamente igual a força peso:

$$\vec{F}_R = \vec{0}$$

$$T - P = 0$$

$$T = P$$

É importante deixar claro que não há uma equação que defina a tração. Cada caso deve ser analisado a partir do diagrama de forças e da segunda lei de Newton.

Vou demonstrar analisando uma cena do meu filme “*de volta ao lar*” onde o vilão Abutre corta um navio ao meio e, para que os civis que estavam dentro do navio não sofressem qualquer acidente, eu tentei segurar a balsa utilizando minhas teias inextensíveis, pois não queria que elas esticassem. Supondo que nessa situação eu tivesse uma massa de 55 kg , e estivesse fazendo uma força (F) igual a 30.000 N em um dos braços para que as partes do navio não se divissem ainda mais e, assim, salvar todos os passageiros, vamos calcular a tração (T) na sofrida pela teia para que o navio permaneça em equilíbrio.

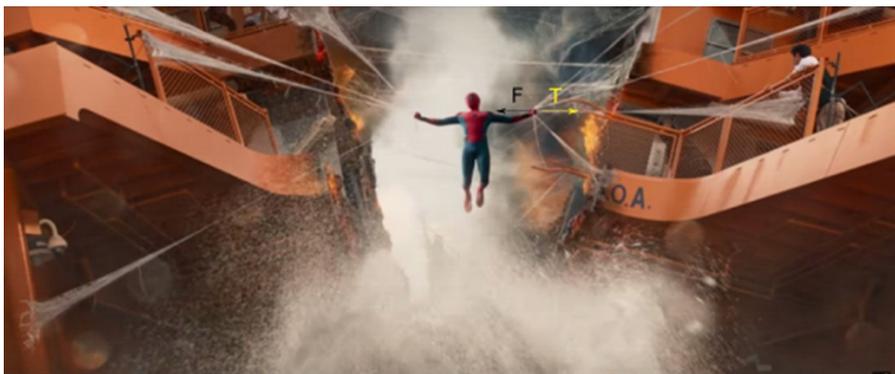


Figura 22 – Homem-Aranha Pendurado + Força + Tensão.

Fonte: print screen do vídeo Homem-Aranha: De Volta ao Lar | Trailer Dublado | 6 de julho nos cinemas. ¹

Para que as partes da balsa não se dividam ainda mais e fiquem em equilíbrio estático, a somatória das forças deve ser zero:

$$\vec{F}_r = \vec{0}$$

$$F - T = 0$$

$$T = F$$

Nesse caso, a tração é numericamente igual a força que realizei, pois não pode haver força resultante e, conseqüentemente, aceleração para que se atinja o equilíbrio estático.

Então, temos que:

$$T = 30.000 \text{ N}$$

Para saber mais sobre a tensão acesse ao vídeo do Khan Academy sobre a [Trações média e suave](#).

Assim demonstramos como a tensão é calculada. E aprender o conceito e a matemática relacionada a tensão é muito importante, pois além de explicar como eu posso ficar pendurado no teto, esse conceito aborda qualquer situação que envolva um fio inextensível, como em pêndulos ideais, corpos sendo puxados através de cabos, molas, polias fixas e móveis, tendo inúmeras aplicações, principalmente nas engenharias.

VAMOS PRATICAR III

7. Em uma cena do filme Homem-Aranha de 2002, o herói para um trem de 11 vagões que viajava a 80 km/h. Nessa situação em específico, o Homem-Aranha utilizou as teias inextensíveis e para parar o trem por completamente, como apresenta a *Figura 23*.

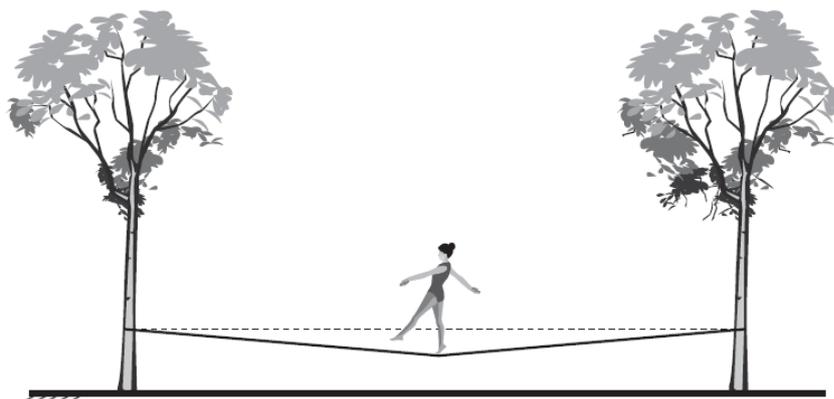


Figura 23 – Homem-Aranha parando o trem.

Fonte: print screen do filme Homem-Aranha 2002.

Sabendo que no momento em que esse sistema entra em equilíbrio estático o trem faz uma força de 18.000 N no herói, qual é a tensão em cada uma das duas teias inextensíveis, se elas possuem um ângulo de 60° entre si?

8. (ENEM) *Slackline* é um esporte no qual o atleta deve se equilibrar e executar manobras estando sobre uma fita esticada. Para a prática do esporte, as duas extremidades da fita são fixadas de forma que ela fique a alguns centímetros do solo. Quando um atleta de massa igual a 80 kg está exatamente no meio da fita, essa se desloca verticalmente, formando um ângulo de 10° com a horizontal, como esquematizado na figura. Sabe-se que a aceleração da gravidade é igual a 10 m/s^2 , $\cos(10^\circ) = 0,98$ e $\sin(10^\circ) = 0,17$.



Qual é a força que a fita exerce em cada uma das árvores por causa da presença da atleta?

A) $4,0 \times 10^2 \text{ N}$

C) $8,0 \times 10^2 \text{ N}$

E) $4,7 \times 10^3 \text{ N}$

B) $4,1 \times 10^2 \text{ N}$

D) $2,4 \times 10^3 \text{ N}$

Bem, eu vou ficando por aqui, mas feliz por termos conversado sobre como funciona algumas de minhas teias. Foi muito interessante discutir com você sobre como a força elástica tem origem eletromagnética, pois quando os átomos estão afastados por distâncias maiores que o tamanho de seus raios atômicos eles se atraem, mas quando estão separados por distâncias menores que seus raios atômicos eles se repelem.

Eu não posso deixar de falar do gráfico! Nossa, só de lembrar que partimos do gráfico da interação eletromagnética e matematizamos a força elástica com a equação $\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$. Além disso, destrinchamos cada parte da equação da força elástica, relacionando o sinal negativo com o fato da força elástica ser uma força restauradora é de arrepiar o meu sentido aranha. Por fim, aplicamos a Segunda Lei de Newton e exploramos a força que atua em corpos inextensíveis, matematizando e analisando os meus filmes... Nossa, você foi um ótimo interlocutor! Espero que você tenha gostado de mim, pois eu adorei estar estudando esses conceitos com você.

Ps: lembre-se de não contar para ninguém a minha identidade secreta, e que eu sou o Vingador mais legal, mesmo o Thor tendo um martelo mágico e o Homem de Ferro todo o dinheiro do mundo.

REFERÊNCIAS

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Lições de física de Feynman**. Edição definitiva. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 552 p. v. 1.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: Mecânica**. 4. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2002. 336 p. v. 1.

PhET. INTERACTIVE SIMULATION. **Interações Atômicas**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/atomic-interactions/latest/atomic-interactions_pt_BR.html. Acesso em: 20 jun. 2020.

PhET. INTERACTIVE SIMULATION. **Molas e Massas**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/masses-and-springs. Acesso em: 20 jun. 2020.

PhET. INTERACTIVE SIMULATION. **Lei de Hooke**. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/hookes-law/latest/hookes-law_pt_BR.html. Acesso em: 20 jun. 2020.

APÊNDICE A – ROTEIRO EXPERIMENTAL

Disciplina: Física

Professor(a): Vinicius Marquez

Turma: 1 EM

ATENÇÃO: Leia atentamente toda atividade experimental antes de realizar qualquer procedimento e siga as instruções descritas nessa atividade.

ROTEIRO EXPERIMENTAL

OBJETIVO

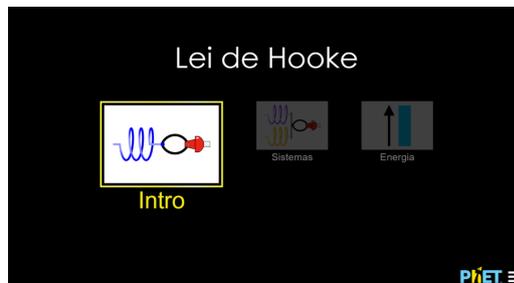
Experimentar, de maneira remota, os conceitos aprendidos nas videoaulas.

MATERIAIS NECESSÁRIOS

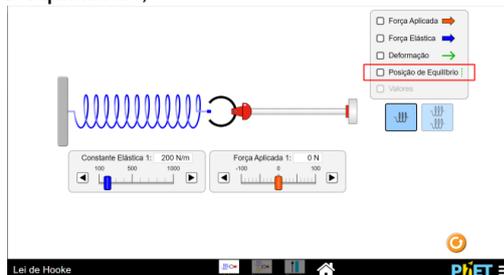
- Dispositivo eletrônico (Computador, notebook ou smartphone);
- Acesso à internet;
- Editor de texto.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E DISCUSSÃO

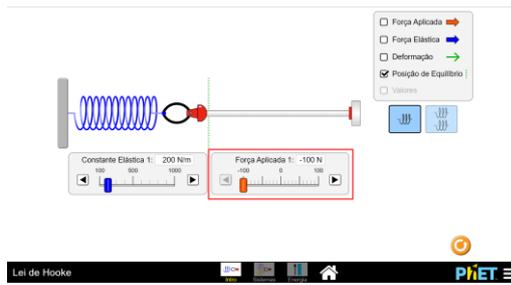
1. Acesse o link: https://phet.colorado.edu/sims/html/hoodes-law/latest/hoodes-law_pt_BR.html e clique no retângulo “Intro”;



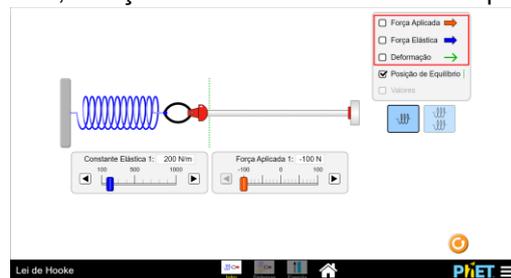
2. Clique na marcação “posição de equilíbrio”;



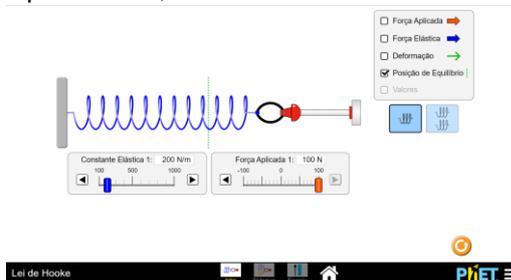
3. Mova a barrinha “força aplicada” para -100 N ;



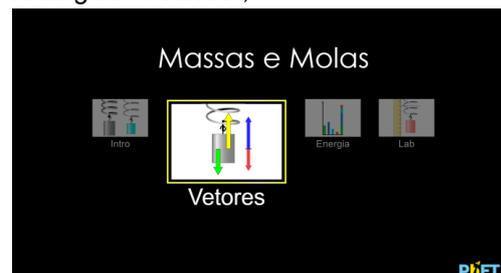
- Para qual lado sentido (esquerda, direita) aponta a força aplicada pelo braço robótico? E a deformação da mola ocorreu para qual sentido? E qual o sentido da força elástica?
- Marque as opções “Força Aplicada”, “Força Elástica” e “Deslocamento” para conferir suas respostas.



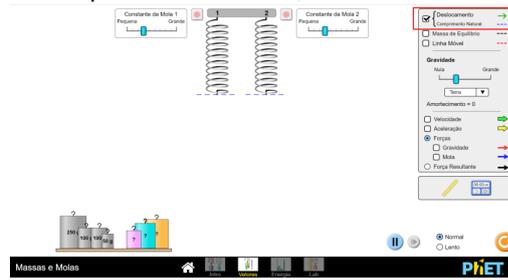
- Mova a barra “força aplicada” para 100 N;



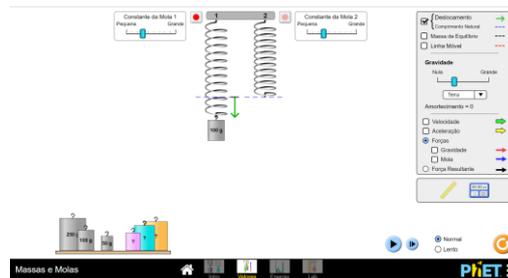
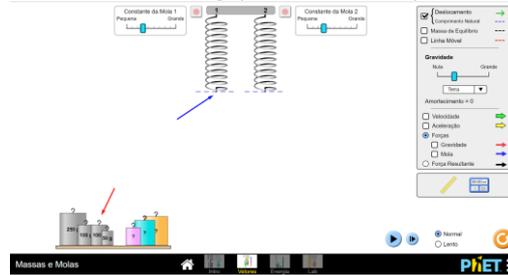
- Para qual lado sentido (esquerda, direita) aponta a força aplicada pelo braço robótico? E a deformação da mola ocorreu para qual sentido? E qual o sentido da força elástica?
- A partir do experimento e das respostas dos tópicos “4” e “7”, faça uma pequena explicação que relacione os sentidos da força aplicada com a deformação e com a força elástica.
- Acesse o link: https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_pt_BR.html e clique no retângulo “Vetores”;



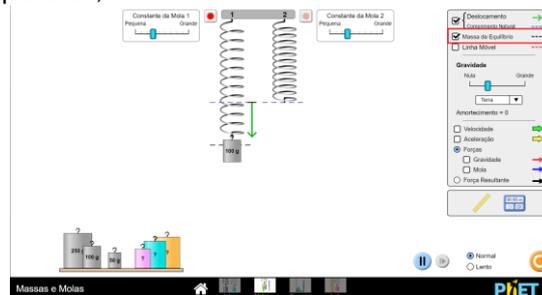
10. Ative a opção “Deslocamento” “Comprimento Natural”;



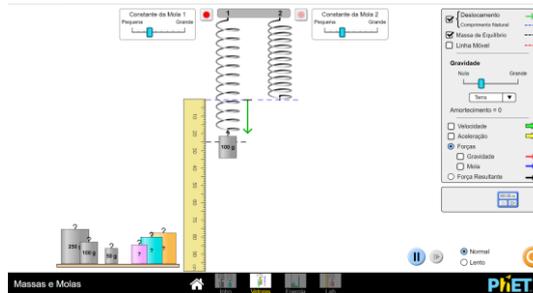
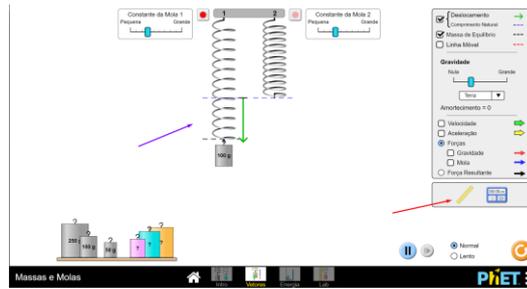
11. Com o cursor do mouse, leve a massa de 100 g (seta vermelha) até a mola (seta azul);



12. Ative a opção “Massa de equilíbrio”;



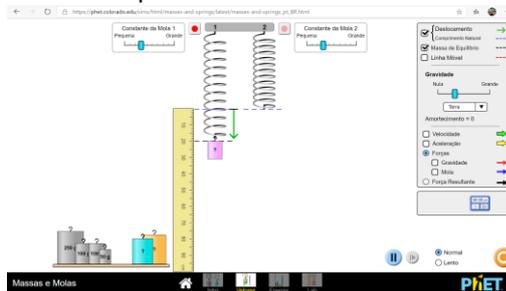
13. Com o cursor do mouse, use a régua (seta vermelha) para medir a deformação (seta azul) sofrida pela mola;



14. O que significa essa linha “Massa de Equilíbrio”?

15. Qual é a constante elástica da mola?

16. Retire a massa de 100 g da mola e coloque o menor das massas misteriosas no lugar;



17. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?

18. Repita o procedimento 16 para a massa misteriosa do meio;

19. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?

20. Repita o procedimento 16 para a maior massa misteriosa;

21. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?

22. Por que a mola fica oscilando e não para na sua posição de equilíbrio?

23. Mova a barrinha da “Constante da Mola 2” quatro posições para a esquerda;



24. Repita os procedimentos “11”, “12” e “13”, mas agora na mola 2 para calcular a sua constante elástica;
25. Matematicamente, qual a relação entre o deslocamento sofrido pela mola e a constante elástica da mola? É linear ou quadrática? Inversa ou diretamente proporcional?

ANEXO A – EXERCÍCIOS APLICADOS

1. Existem apenas quatro forças fundamentais no Universo: força eletromagnética, força gravitacional, força nuclear forte e nuclear fraca. Todas as outras forças são derivadas dessas quatro. Até mesmo a força elástica, que é a força que explica o comportamento das teias do Homem-Aranha, é derivada de uma dessas quatro forças fundamentais. Faça um pequeno texto explicando como é possível que a força eletromagnética seja a força fundamental que de origem a força que explica o funcionamento das teias do Homem-Aranha, sabendo que a teia se comporta como uma mola ideal, podendo ser comprimida ou esticada, mas sempre tente a retornar a sua posição de equilíbrio. Ps: você pode incluir desenhos para complementar seu texto.
2. Quando duas moléculas que formam a teia do Homem-Aranha estão afastadas por distâncias maiores que a de um raio atômico, existe uma atração eletromagnética entre as moléculas, fazendo com que quando a teia for esticada ela retorne à posição de equilíbrio. Agora quando as moléculas da teia estão muito próximas, com distâncias menores que o tamanho de um raio atômico, as moléculas sofrem uma repulsão eletromagnética, fazendo com que quando a teia, que está comprimida, retorne ao tamanho inicial. Explique, através de desenhos, texto ou gráficos porquê esse fenômeno ocorre com as molas e com a teia do Homem-Aranha.
3. A teia que o Homem-Aranha utiliza para se balançar de um lado para o outro ou para lutar contra vilões precisa esticar e comprimir, tendo o seu comportamento aproximado ao de uma mola ideal. Dessa maneira, o amigo da vizinhança pode utilizar a Lei de Hooke ($\vec{F}_{el} = -k\vec{x}$) para fazer algumas previsões e melhorar a sua teia, diminuindo o risco de se pendurar em um prédio e acabar batendo no chão ou de não conseguir prender um inimigo que colocou sua namorada em perigo. Sabendo que \vec{F}_{el} é a força elástica, dada em N no SI; k é a constante elástica, dada em N/m no SI; \vec{x} é a deformação da mola em relação a posição de equilíbrio, medida em metros (m) no SI, escreva um pequeno texto para o Homem-Aranha explicando quais são as relações entre força e deslocamento que a Lei de Hooke nos fornece?
4. O Homem-Aranha está no topo do Empire State Building (prédio de 102 andares que se encontra no centro de Nova York), mas precisa ir para a Torre dos Vingadores (quartel general dos heróis que possui 202 andares) para receber as informações da sua próxima missão. Os prédios são separados por uma distância de 20 m. Qual é a constante elástica da teia do Aranha se ele se pendurou, diretamente, do Empire State Building para a Torre dos Vingadores e, quando se encontrou em equilíbrio estático, com a teia esticada de

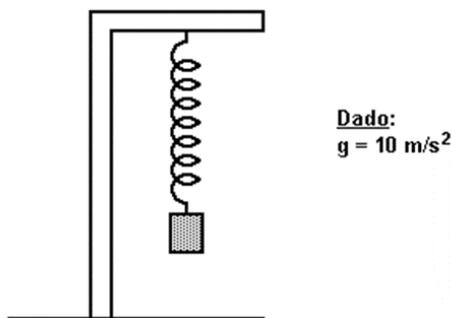
maneira paralela ao prédio, ficou a uma distância 15 metros do chão? Considere a massa do Homem-Aranha igual a 65 kg e a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 .

5. (G1 - ifsul 2018) Se você esticar uma mangueira de borracha e soltá-la, poderá observar um pulso movendo-se para cima e para baixo da mangueira.

O que acontecerá com a velocidade desse pulso se você esticar a mangueira com mais força?

- a) Aumentará
b) Diminuirá
c) Permanecerá constante
d) Mudará de forma imprevisível

6. (Uel) Certa mola helicoidal, presa num suporte vertical, tem comprimento de 12 cm. Quando se prende à mola um corpo de 200 g ela passa a medir 16 cm.



A constante elástica da mola vale, em N/m,

- a) 5,0
b) $5,0 \cdot 10$
c) $5,0 \cdot 10^2$
d) $5,0 \cdot 10^3$
e) $5,0 \cdot 10^4$

7. Em uma cena do filme Homem-Aranha de 2002, o herói para um trem de 11 vagões que viajava a 80 km/h. Nessa situação em específico, o “miranha” utilizou as teias inextensíveis e para parar o trem por completamente, como apresenta a *Figura 23*.

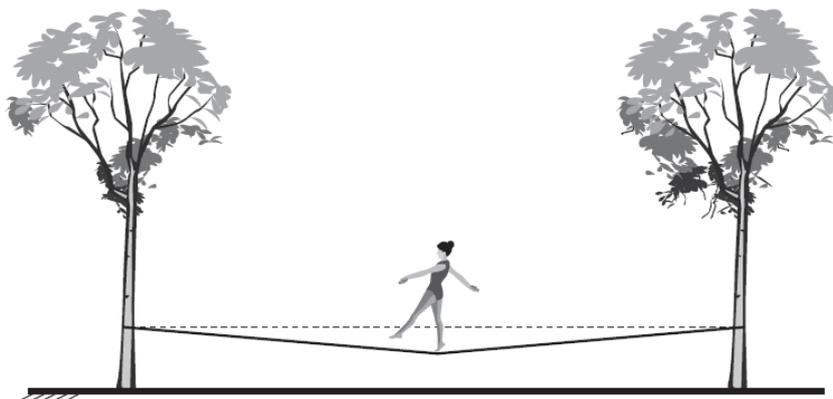


Figura 23 – Homem-Aranha parando o trem.

Fonte: print screen do filme Homem-Aranha 2002.

Sabendo que no momento em que esse sistema entra em equilíbrio estático o trem faz uma força de 18.000 N no herói, qual é a tensão em cada uma das duas teia inextensíveis, se elas possuem um ângulo de 60° entre elas?

8. (ENEM) *Slackline* é um esporte no qual o atleta deve se equilibrar e executar manobras estando sobre uma fita esticada. Para a prática do esporte, as duas extremidades da fita são fixadas de forma que ela fique a alguns centímetros do solo. Quando um atleta de massa igual a 80 kg está exatamente no meio da fita, essa se desloca verticalmente, formando um ângulo de 10° com a horizontal, como esquematizado na figura. Sabe-se que a aceleração da gravidade é igual a 10 m/s^2 , $\cos(10^\circ) = 0,98$ e $\sin(10^\circ) = 0,17$.



Qual é a força que a fita exerce em cada uma das árvores por causa da presença da atleta?

- A) $4,0 \times 10\text{ N}$
- B) $4,1 \times 10^2\text{ N}$
- C) $8,0 \times 10^2\text{ N}$
- D) $2,4 \times 10^3\text{ N}$
- E) $4,7 \times 10^3\text{ N}$

ANEXO B – ROTEIRO EXPERIMENTAL

Disciplina: Física

Professor(a): Vinicius Marquez

Turma: 1 EM

Grupo: _____ **Data:** ____/____/____ **Nota:** _____

ATENÇÃO: Leia atentamente toda atividade experimental antes de realizar qualquer procedimento e siga as instruções descritas nessa atividade.

ROTEIRO EXPERIMENTAL

OBJETIVO

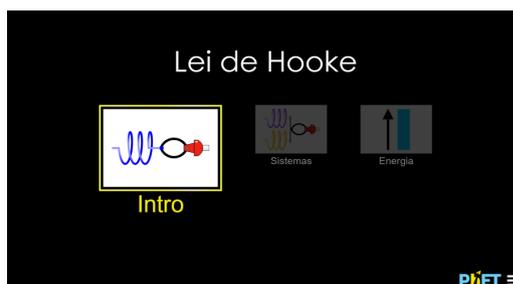
Experimentar, de maneira remota, os conceitos aprendidos nas videoaulas.

MATERIAIS NECESSÁRIOS

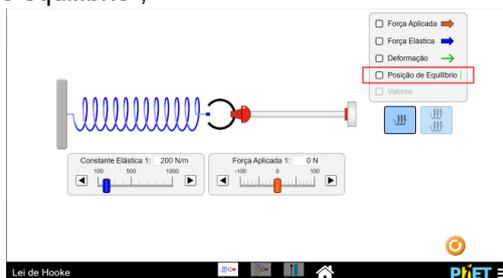
- Dispositivo eletrônico (Computador, notebook ou smartphone);
- Acesso à internet;
- Editor de texto.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E DISCUSSÃO

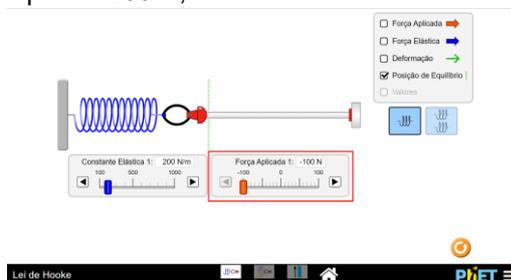
26. Acesse o link: https://phet.colorado.edu/sims/html/hooks-law/latest/hooks-law_pt_BR.html e clique no retângulo “Intro”;



27. Clique na marcação “posição de equilíbrio”;

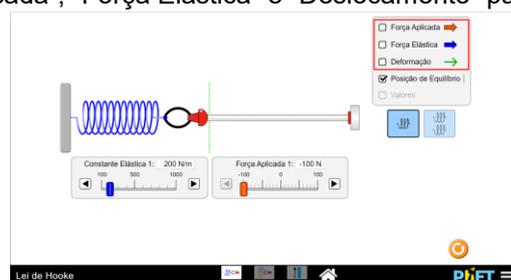


28. Mova a barra "força aplicada" para -100 N ;

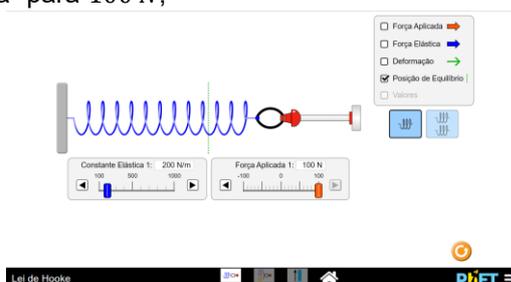


29. Para qual lado sentido (esquerda, direita) aponta a força aplicada pelo braço robótico? E a deformação da mola ocorreu para qual sentido? E qual o sentido da força elástica?

30. Marque as opções "Força Aplicada", "Força Elástica" e "Deslocamento" para conferir suas respostas.



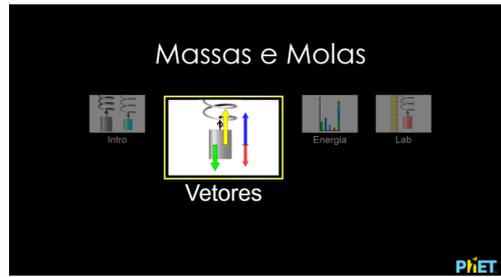
31. Mova a barra "força aplicada" para 100 N ;



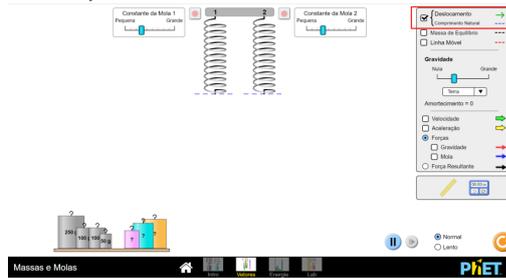
32. Para qual lado sentido (esquerda, direita) aponta a força aplicada pelo braço robótico? E a deformação da mola ocorreu para qual sentido? E qual o sentido da força elástica?

33. A partir do experimento e das respostas dos tópicos "4" e "7", faça uma pequena explicação que relacione os sentidos da força aplicada com a deformação e com a força elástica.

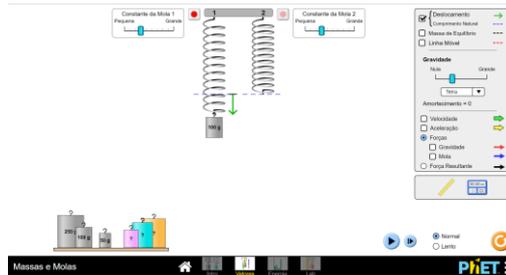
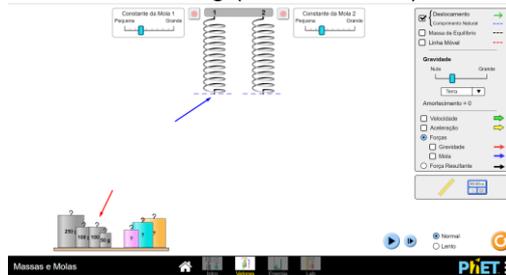
34. Acesse o link: https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_pt_BR.html e clique no retângulo "Vetores";



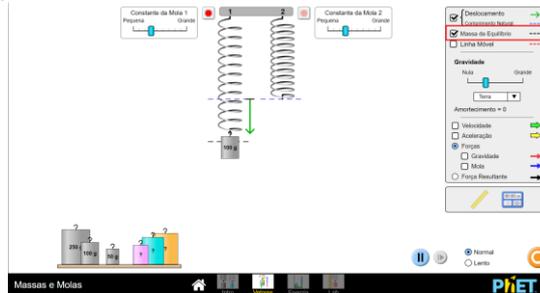
35. Ative a opção “Deslocamento” “Comprimento Natural”;



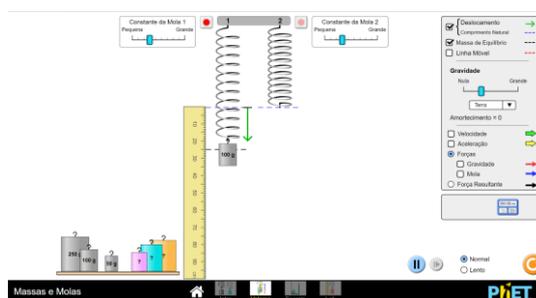
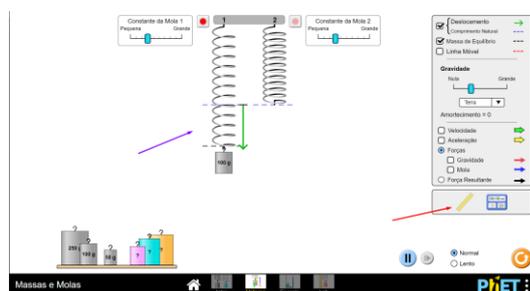
36. Com o cursor do mouse, leve a massa de 100 g (seta vermelha) até a mola (seta azul);



37. Ative a opção “Massa de equilíbrio”;



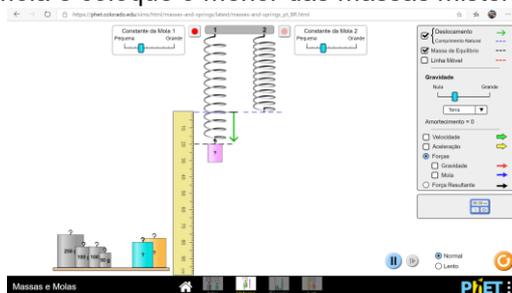
38. Com o cursor do mouse, use a régua (seta vermelha) para medir a deformação (seta azul) sofrida pela mola;



39. O que significa essa linha “Massa de Equilíbrio”?

40. Qual é a constante elástica da mola?

41. Retire a massa de 100 g da mola e coloque o menor das massas misteriosas no lugar;



42. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?

43. Repita o procedimento 16 para a massa misteriosa do meio;

44. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?

45. Repita o procedimento 16 para a maior massa misteriosa;

46. Qual o módulo da massa dessa massa misteriosa?

47. Por que a mola fica oscilando e não para na sua posição de equilíbrio?

48. Mova a barrinha da “Constante da Mola 2” quatro posições para a esquerda;



49. Repita os procedimentos “11”, “12” e “13”, mas agora na mola 2 para calcular a sua constante elástica;

50. Matematicamente, qual a relação entre o deslocamento sofrido pela mola e a constante elástica da mola? É linear ou quadrática? Inversa ou diretamente proporcional?