

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física  
Polo **ufscar** Sorocaba



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**A DANÇA E AS LEIS DO MOVIMENTO:  
UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE FÍSICA**

**RUBENS PANTANO FILHO**

**ORIENTADOR: PROF. DR. MÁRLON CAETANO RAMOS PESSANHA**

Sorocaba - SP  
Abril de 2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**A DANÇA E AS LEIS DO MOVIMENTO:  
UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE FÍSICA**

**RUBENS PANTANO FILHO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física no Ensino Médio.  
Orientador: Prof. Dr. Márlon Caetano Ramos Pessanha

Sorocaba - SP  
Abril de 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade  
Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Rubens Portano Filho, realizada em 23/04/2024.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Marlon Caetano Ramos Pessanha (UFSCar)

Prof. Dr. Emerson Ferreira Gomes (IFSP)

Profa. Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales (UFTM)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Pantano Filho, Rubens

A Dança e as Leis do Movimento: uma proposta para o ensino de Física / Rubens Pantano Filho -- 2024. 199f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Márlon Caetano Ramos Pessanha

Banca Examinadora: Márlon Caetano Ramos Pessanha, Emerson Ferreira Gomes, Nilva Lúcia Lombardi Sales

Bibliografia

1. Ensino de Física. I. Pantano Filho, Rubens. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(Sin)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -  
CRB/8 6979

**DEDICATÓRIA**

*Ao meu neto querido Lucca Mattiazzo Pantano Brambila;  
que suas sendas estejam sempre iluminadas pelas estrelas.*

# AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001. Assim, agradeço CAPES pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) durante todo o meu período de formação.

Minha consideração também é devida à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – campus Sorocaba – pelo acolhimento nesses dois anos de estada acadêmica.

Ainda sou grato ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - campus Bragança Paulista (IFSP-BRA), instituição na qual atuo como docente-pesquisador e que me possibilitou a utilização de parte do tempo de minhas atividades profissionais para dedicar-me a esses estudos.

Gratidão ao meu orientador durante esse percurso, Prof. Dr. Márlon Caetano Ramos Pessanha, pelas reuniões, discussões, sugestões, propostas e, acima de tudo, pelo humanismo nas nossas relações, atributo fundamental e imprescindível para todos os que atuam na educação.

Também sou grato aos docentes que nos acompanharam no mesmo período, os quais contribuíram significativamente em termos de formação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adriana de Oliveira Delgado Silva, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Lúcia Brandl, Prof. Dr. Jhonny Vilcarromero López, Prof. Marco Aurélio Eufrauzino Maria, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria José Fontana Gebara, Prof. Dr. Márlon Caetano Ramos Pessanha, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Nilva Lúcia Lombardi Sales, Prof. Dr. Rafael Henriques Longaresi e Prof. Dr. Tércio Guilherme de Souza Cruz.

Ainda, registro aqui meu reconhecimento aos professores examinadores participantes das bancas de qualificação e defesa: Prof. Dr. Emerson Ferreira Gomes (IFSP) e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Nilva Lúcia Lombardi Sales (UFSCar). Da mesma forma, aos dois professores suplentes: Prof.<sup>a</sup> Ana Lucia Brandl (UFSCar) e Dr. João Roberto Moro (IFSP-BRA).

Meus agradecimentos também são dirigidos aos colegas de turma do MNPEF, grupo ingressante em 2022: Alexandre Galetti, Fernando Moreira, Kaique Thiago de Souza, Márcio Pereira, Raul Pinheiro da Silva, Reginaldo de Abreu, Rodrigo Felipe Raffa e Wingley Borssati Miorali Vital, pela convivência nesse biênio durante o qual compartilhamos cafés, materiais, orientações, discussões, conhecimentos, conversas, piadas, risadas, almoços, bem como algumas preocupações referentes ao curso.

Por algumas sugestões para a escrita, sou grato à Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Kelly Cristina de Oliveira (IFSP-BRA), e pelo inestimável trabalho de revisão do texto, sou bastante agradecido à Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gabriele Franco, companheira docente por alguns anos no IFSP-BRA, período no qual também foi minha parceira de tangos nos cursos e apresentações de dança que lá promovemos.

Finalizando, não poderia deixar de registrar minha gratidão aos meus queridos estudantes do IFSP-BRA, que também participaram como protagonistas nas várias etapas dessa pesquisa acadêmica.

*A realidade não é uma exposição a ser vistoriada pelo homem, com o rótulo de “Não tocar”. Não há aspectos fotografados, experiências copiadas, em que não tomemos parte. A ciência, tal como a arte, não é uma cópia da natureza, mas uma recriação da mesma. Refazemos a natureza pelo ato da descoberta, no poema ou no teorema, e o grande poema e o teorema profundo são novos para todos os leitores, e, todavia, constituem as suas próprias experiências, porque eles próprios as tornam a criar. São os marcos da unidade na variedade. No instante em que o espírito capta isso, quer na arte quer na ciência, o coração desfalece.*

*(Bronowski, 1979, p. 26)*



# RESUMO

PANTANO FILHO, Rubens. A Dança e as Leis do Movimento: uma Proposta para o Ensino de Física. 2023. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2024.

No contexto das reflexões sobre o ensino de Física no Ensino Médio (EM), a presente dissertação contempla um produto educacional que consiste em um conjunto de propostas para o ensino de conceitos relacionados à Mecânica básica e as leis a eles associados, utilizando a Arte – particularmente a Dança – como ponto de apoio e elemento motivacional. Assim, buscou-se aproximar essas duas áreas de conhecimento situadas em dois campos do saber que – aparentemente – não apresentam intersecções ou mesmo aproximações. Dessa forma, a Ciência – a Física em particular – também é tratada como um elemento do largo espectro da cultura, tal qual outros fazeres humanos tradicionalmente são assim considerados: a literatura, a música, a moda, a gastronomia, a religião, o esporte, os costumes, a política, entre outros. O trabalho desenvolvido tem como referencial teórico os estudos de João Zanetic, da Universidade de São Paulo (Brasil), Luís Paulo Piassi, também da Universidade de São Paulo (Brasil), Glen Aikenhead, da *University of Saskatchewan* (Canadá) e Maria Eduarda Vaz Moniz dos Santos, da Universidade de Lisboa (Portugal). Nas propostas oferecidas são utilizados vídeos de danças folclóricas, clássicas, de salão, contemporâneas e/ou de competição, bem como imagens de bailarinos em momentos específicos de suas performances, todos apropriados como elementos para discussão de alguns temas da Mecânica Newtoniana. Assim, as atividades aproximando Física e Dança envolvem os típicos conceitos físicos inerentes ao estudo dos movimentos: referencial, deslocamento, velocidade, aceleração, força, energia e sua conservação, torque e equilíbrio. O produto educacional foi aplicado em três turmas de primeiro ano de três Cursos Técnicos (Eletroeletrônica, Informática e Mecânica) Integrados ao Ensino Médio de uma instituição federal de ensino da cidade de Bragança Paulista, SP. Nas atividades realizadas ao longo de um ano letivo pode-se observar uma boa motivação dos estudantes envolvidos quanto ao tratamento dos temas. Além disso, os respectivos processos avaliativos também evidenciaram uma apropriada compreensão dos conceitos trabalhados na aplicação do produto.

**Palavras-chave:** Física. Cultura. Mecânica. Arte. Movimento. Dança.

# ABSTRACT

PANTANO FILHO, Rubens. Dance and the Laws of Movement: a Proposal for Physics Teaching. 2023. Dissertation (Master's in Physics Teaching) – Federal University of São Carlos, Sorocaba campus, Sorocaba, 2024.

In the context of reflections on the teaching of Physics in High School (HS), this dissertation contemplates an educational product that consists of a set of proposals for teaching concepts related to basic Mechanics and the laws associated with them, using Art – particularly Dance – as a support point and motivational element. Thus, we seek to bring together these two areas of knowledge inserted in two fields of knowledge that – apparently – do not present intersections or even approximations. In this way, Science – Physics in particular – is also treated as an element of the broad spectrum of culture, just as other human activities are traditionally considered as such: literature, music, fashion, gastronomy, religion, sport, customs, politics, among others. The work developed presents the studies of João Zanetic as its theoretical reference, from the University of São Paulo (Brazil), Luís Paulo Piassi, also from the University of São Paulo (Brazil), Glen Aikenhead, from the University of Saskatchewan (Canada) and Maria Eduarda Vaz Moniz dos Santos, from the University of Lisbon (Portugal). The proposals of this study include videos of folk, classical, ballroom, contemporary and/or competition dances, as well as images of dancers at specific moments of their performances, all appropriate as elements for discussing some themes of Classical Mechanics. Thus, we develop activities that bring Physics and Dance together and involve the typical physical concepts inherent to the study of movements: reference, displacement, speed, acceleration, force, energy and its conservation, torque and balance. The educational product was applied to three first-year classes of three Technical Courses (Electroelectronics, Computing and Mechanics) Integrated into High School at a federal educational institution in the city of Bragança Paulista, SP. In the activities carried out throughout an academic year, it is possible to observe a good motivation of the students involved in dealing with the topics. Furthermore, the respective evaluation processes also demonstrated an appropriate understanding of the concepts worked on in the application of the product.

**Keywords:** Physics. Culture. Mechanics. Art. Movement. Dance.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Dança na pré-história.....	12
Figura 2.2 - <i>Estampie</i> , dança medieval.....	14
Figura 2.3 - Milonga, um baile social em Buenos Aires.....	15
Figura 2.4 – Samba de Roda.....	16
Figura 3.1 – Retrato de Isaac Newton (1642-1727).....	29
Figura 3.2 – Cópia pessoal de Isaac Newton da primeira edição do <i>Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica</i> anotada por ele para a segunda edição.....	30
Figura 3.3 – Aceleração Centrípeta.....	35
Figura 3.4 – Lei da Ação e Reação.....	36
Figura 3.5 - Retrato de Galileu Galilei.....	38
Figura 3.6 - Bola caindo.....	39
Figura 3.7 - A parábola no movimento de um projétil lançado horizontalmente.....	42
Figura 3.8 - Objeto lançado obliquamente.....	43
Figura 3.9 - A componente horizontal do movimento.....	44
Figura 3.10 - Queda livre e lançamento horizontal.....	45
Figura 3.11 - Haltere em queda livre.....	47
Figura 3.12 - Corpo extenso lançado obliquamente.....	48
Figura 3.13 - A “estrela” lançada obliquamente.....	48
Figura 3.14 - O movimento circular e uniforme.....	49
Figura 3.15 - A aceleração centrípeta e a velocidade no movimento circular e uniforme.....	51
Figura 3.16 - Força centrípeta e a velocidade em um satélite em órbita.....	51
Figura 3.17 - Força e deslocamento.....	53
Figura 3.18 - Trabalho de força variável.....	55
Figura 3.19 - Trabalho da força peso de corpo em queda na vertical.....	57
Figura 3.20 - Trabalho da força peso em trajetória em dois segmentos.....	58
Figura 3.21 - Trabalho da força peso em trajetória qualquer.....	59
Figura 3.22 – Exemplo de oscilador harmônico.....	61
Figura 3.23 - Lei de Hooke.....	61
Figura 3.24 - Determinação da constante k da mola.....	62
Figura 3.25 - Trabalho da força elástica.....	63
Figura 3.26 - Mola de torção em prendedor de roupa.....	64

Figura 3.27 - Conservação da energia mecânica em um pêndulo simples.....	66
Figura 3.28 - Conservação da energia mecânica.....	67
Figura 3.29 - Grande portal do <i>Trinity College</i> .....	68
Figura 3.30 - Força sobre uma porta.....	69
Figura 3.31 - Direção e sentido do torque.....	70
Figura 3.32 – Haste sob ação de forças.....	71
Figura 3.33 - Binários.....	72
Figura 4.1 - O ciclo de uma caminhada.....	75
Figura 4.2 - Forças nos pés na caminhada.....	75
Figura 4.3 - Centro de massa do corpo e equilíbrio.....	76
Figura 4.4 - <i>Finding balance</i> .....	77
Figura 4.5 - <i>Chinese Pole Dancing</i> .....	77
Figura 4.6 - <i>Sway Pole</i> .....	78
Figura 4.7 - Movimento aéreo no forró.....	79
Figura 4.8 - Salto na capoeira.....	79
Figura 4.9 - Salto no balé.....	80
Figura 4.10 - Dança Dervixe.....	81
Figura 4.11 - <i>Plan B</i> .....	81
Figura 4.12 - Dança dos Voadores.....	82
Figura 6.1 - Performance do(a)s bailarino(a)s da companhia de dança de Yoann Bourgeois....	91
Figura 6.2 - Salto de uma bailarina.....	91
Figura 6.3 - Performance da bailarina Julie Gautier.....	92
Figura 6.4 – Performance acrobática.....	93
Figura 6.5 - A Dança dos Voadores.....	94
Figura 6.6 - Performance da Companhia de Yoann Bourgeois.....	95
Figura 6.7 - Performance do casal Yoann Bourgeois e Marie Bourgeois.....	96
Figura 6.8 - Emma Bogren e Richard Cepeda em uma aula de tango argentino.....	96
Figura 7.1 - Respostas da questão 01 da Atividade 1.....	98
Figura 7.2 - Respostas da questão 02 da Atividade 1.....	98
Figura 7.3 - Respostas da questão 03 da Atividade 1.....	99
Figura 7.4 – Respostas da questão 04 da Atividade 1.....	99
Figura 7.5 - Respostas da questão 05 da Atividade 1.....	100
Figura 7.6 - Respostas da questão 06 da Atividade 1.....	101
Figura 7.7 - Respostas da questão 01 da Atividade 2.....	103

Figura 7.8 - Respostas da questão 02 da Atividade 2.....	103
Figura 7.9 – Respostas da questão 03 da Atividade 2.....	104
Figura 7.10 – Respostas da questão 01 da Atividade 3.....	106
Figura 7.11 – Respostas da questão 02 da Atividade 3.....	106
Figura 7.12 – Respostas da questão 03 da Atividade 3.....	107
Figura 7.13 – Respostas da questão 04 da Atividade 3.....	107
Figura 7.14 – Respostas da questão 05 da Atividade 3.....	108
Figura 7.15 – Respostas da questão 06 da Atividade 3.....	109
Figura 7.16 – Respostas da questão 07 da Atividade 3.....	109
Figura 7.17 – Respostas da questão 08 da Atividade 3.....	110
Figura 7.18 – Respostas da questão 09 da Atividade 3.....	110
Figura 7.19 – Respostas da questão 10 da Atividade 3.....	111
Figura 7.20 – Respostas da questão 11 da Atividade 3.....	111
Figura 7.21 – Respostas da questão 12 da Atividade 3.....	112
Figura 7.22 – Respostas da questão 01 da Atividade 4.....	113
Figura 7.23 – Respostas da questão 02 da Atividade 4.....	114
Figura 7.24 – Respostas da questão 03 da Atividade 4.....	114
Figura 7.25 – Respostas da questão 04 da Atividade 4.....	115
Figura 7.26 – Respostas da questão 05 da Atividade 4.....	115
Figura 7.27 – Respostas da questão 06 da Atividade 4.....	116
Figura 7.28 – Respostas da questão 07 da Atividade 4.....	116
Figura 7.29 – Respostas da questão 08 da Atividade 4.....	117
Figura 7.30 – Respostas da questão 01 da Atividade 5.....	118
Figura 7.31 – Respostas da questão 02 da Atividade 5.....	118
Figura 7.32 – Respostas da questão 03 da Atividade 5.....	119
Figura 7.33 – Respostas da questão 04 da Atividade 5.....	119
Figura 7.34 – Respostas da questão 05 da Atividade 5.....	120
Figura 7.35 – Respostas da questão 06 da Atividade 5.....	120
Figura 7.36 – Respostas da questão 07 da Atividade 5.....	121
Figura 7.37 – Respostas da questão 08 da Atividade 5.....	121
Figura 7.38 – Respostas da questão 09 da Atividade 5.....	122
Figura 7.39 – Respostas da questão 01 da Atividade 6.....	124
Figura 7.40 – Respostas da questão 02 da Atividade 6.....	124
Figura 7.41 – Respostas da questão 03 da Atividade 6.....	125

Figura 7.42 – Respostas da questão 04 da Atividade 6.....	125
Figura 7.43 – Respostas da questão 05 da Atividade 6.....	126
Figura 7.44 – Respostas da questão 06 da Atividade 6.....	126
Figura 7.45 – Respostas da questão 07 da Atividade 6.....	127
Figura 7.46 – Respostas da questão 08 da Atividade 6.....	127
Figura 7.47 – Respostas da questão 09 da Atividade 6.....	128
Figura 7.48 – Respostas da questão 10 da Atividade 6.....	128
Figura 7.49 – Respostas da questão 11 da Atividade 6.....	129
Figura 7.50 – Respostas da questão 12 da Atividade 6.....	129
Figura 7.51 – Respostas da questão 13 da Atividade 6.....	130
Figura 7.52 – Respostas da questão 14 da Atividade 6.....	130
Figura 8.1 - Modelo “Dança dos Voadores”.....	142
Figura 8.2 - Estudantes na 12ª Feira de Ciência e Tecnologia.....	143
Figura 8.3 - Tela de login do aplicativo.....	144
Figura 8.4 - Tela de conteúdos e o texto sobre Física e Dança.....	144

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**BNCC** - *Base Nacional Comum Curricular - Ensino Médio*

**BRAGANTEC** - *Feira de Ciência e Tecnologia da Região Bragantina*

**CM** – *Centro de Massa*

**CNPq** - *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico*

**CONCISTEC** - *Congresso Científico da Semana Nacional de Tecnologia*

**CTS** – *Ciência, Tecnologia e Sociedade*

**ECE** - *Educação científica escolar*

**EM** – *Ensino Médio*

**HC** – *História da Ciência*

**IBGE** - *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*

**IFSP** – *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo*

**IFSP-BRA** – *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – campus Bragança Paulista*

**IPHAN** - *Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional*

**MCU** – *Movimento Circular Uniforme*

**MEC** – *Ministério da Educação*

**MHS** – *Movimento Harmônico Simples*

**MNPEF** – *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física*

**MRU** – *Movimento Retilíneo Uniforme*

**MRUV** – *Movimento Retilíneo Uniformemente Variado*

**PE** – *Produto Educacional*

**PNAES** - *Política Nacional de Assistência Estudantil*

**PROFIS-So** – *Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba.*

**SEMAT** - *Semana de Matemática e Educação Matemática*

**SEMTEC** - *Semana Nacional de Ciência e Tecnologia*

**SI** – *Sistema Internacional de Unidades*

**UFSCar** – *Universidade Federal de São Carlos*

**UNESCO** - *Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura*

**UNICAMP** – *Universidade Estadual de Campinas*

**USP** – *Universidade de São Paulo*

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 MOTIVAÇÃO .....	3
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	5
<b>CAPÍTULO 2 - CIÊNCIA E(É) CULTURA</b> .....	<b>6</b>
2.1 UMA PERSPECTIVA SOBRE CULTURA .....	6
2.2 A DANÇA COMO CULTURA .....	11
2.3 FÍSICA COMO CULTURA: UM CAMINHO PARA ENSINAR .....	17
2.4 REFERENCIAIS PARA REFLEXÃO .....	19
2.5 BREVE CONSIDERAÇÃO SOBRE INTERDISCIPLINARIDADE.....	25
<b>CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTOS DE MECÂNICA NEWTONIANA</b> .....	<b>28</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	28
3.2 FUNDAMENTOS DE MECÂNICA NEWTONIANA .....	28
<b>3.2.1 Newton e as Leis do Movimento</b> .....	<b>29</b>
3.2.1.1 A Primeira Lei de Newton ou Princípio da Inércia .....	32
3.2.1.2 A Segunda Lei de Newton ou Princípio Fundamental da Mecânica.....	33
3.2.1.3 A Terceira Lei de Newton ou Princípio da Ação e Reação.....	35
<b>3.2.2 Movimento de corpos no campo gravitacional terrestre</b> .....	<b>37</b>
3.2.2.1 Galileu e a queda dos corpos .....	37
3.2.2.2 O movimento de projéteis nas proximidades da Terra .....	41
<b>3.2.3 Movimento Circular Uniforme</b> .....	<b>49</b>
<b>3.2.4 Considerações sobre Energia</b> .....	<b>52</b>
3.2.4.1 Trabalho e Energia.....	52
3.2.4.2 Energia.....	52
3.2.4.3 Trabalho de força constante.....	52
3.2.4.4 Trabalho de força variável .....	54
3.2.4.5 Energia cinética .....	55
3.2.4.6 Energia potencial gravitacional .....	57
3.2.4.7 Energia potencial elástica .....	60
3.2.4.8 Conservação da energia mecânica .....	65
<b>3.2.5 Torque de força e equilíbrio de corpos rígidos</b> .....	<b>67</b>
3.2.5.1 Torque de uma força.....	67



3.2.5.2 Equilíbrio de um corpo rígido .....	70
<b>CAPÍTULO 4 - FÍSICA DOS MOVIMENTOS NA DANÇA .....</b>	<b>74</b>
4.1 FÍSICA DOS MOVIMENTOS NA DANÇA .....	74
<b>CAPÍTULO 5 - PERCURSO METODOLÓGICO .....</b>	<b>84</b>
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	84
5.2 ETAPAS DA PESQUISA .....	85
<b>5.2.1 Elaboração do Produto Educacional .....</b>	<b>85</b>
<b>5.2.2 Implementação do Produto Educacional .....</b>	<b>86</b>
5.3 CONTEXTO DE PESQUISA .....	88
5.4 COLETA E ANÁLISE DE DADOS .....	89
<b>CAPÍTULO 6 - PRODUTO DIDÁTICO ELABORADO .....</b>	<b>90</b>
6.1 ATIVIDADE 1: MOVIMENTO E REFERENCIAL.....	90
6.2 ATIVIDADE 2: MOVIMENTO NO CAMPO GRAVITACIONAL.....	91
6.3 ATIVIDADE 3: FORÇAS E EQUILÍBRIO .....	92
6.4 ATIVIDADE 4: DINÂMICA DO MOVIMENTO CIRCULAR.....	93
6.5 ATIVIDADE 5: ENERGIA MECÂNICA .....	94
6.6 ATIVIDADE 6: EQUILÍBRIO DE CORPO RÍGIDO .....	95
<b>CAPÍTULO 7 - RELATO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>97</b>
7.1 ATIVIDADE 1: MOVIMENTO E REFERENCIAL.....	97
7.2 ATIVIDADE 2: MOVIMENTO NO CAMPO GRAVITACIONAL.....	102
7.3 ATIVIDADE 3: FORÇAS E EQUILÍBRIO .....	105
7.4 ATIVIDADE 4: DINÂMICA DO MOVIMENTO CIRCULAR.....	112
7.5 ATIVIDADE 5: ENERGIA MECÂNICA .....	117
7.6 ATIVIDADE 6: EQUILÍBRIO DE CORPO RÍGIDO .....	123
7.7 FECHAMENTO DAS ATIVIDADES.....	131
7.8 COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO DO PRODUTO .....	138
<b>CAPÍTULO 8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>140</b>
8.1 MOTIVAÇÕES PARA OUTRAS ATIVIDADES .....	141
<b>8.1.1 Construção de um modelo da “Dança dos Voadores” .....</b>	<b>141</b>
<b>8.1.2 O aplicativo U4Dance.....</b>	<b>143</b>
8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	145
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>146</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>154</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>199</b>

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

---

Física e Arte situam-se – aparentemente - em campos distintos do saber e bem distantes um do outro. A Física é uma área do conhecimento que costuma ser posta no campo da razão, do rigor descritivo da natureza e da precisão das medições. A Arte, por sua vez, é alocada no campo da intuição, da criatividade e liberdade de criação (Reis, Guerra, Braga, 2005).

A possibilidade de articular Física e Arte - a Dança em particular - leva em conta que “na educação [...] tem havido recentemente uma maior atenção às formas de aprendizado multissensoriais e incorporadas, coincidindo com um afastamento da noção platônico-cartesiana de uma divisão entre corpo e mente” (Gouveia, 2020, p. 13). Em um contexto mais amplo, Alcântara e Jardim (2014) também registram que é crescente a discussão abordando a importância de se apresentar os conhecimentos científicos como elementos indissociáveis da cultura humana.

Pelas mesmas sendas, registra-se o exposto por Crochik (2013) ao considerar que a aproximação da educação da ciência com relação às artes valoriza a sensibilidade e a sensoriedade, bem como a criatividade e a ludicidade. Da mesma maneira, Sawada e Araújo-Jorge (2017) consideram que a arte associada à educação científica, por meio de atividades integradoras, pode propiciar aos estudantes o desenvolvimento de novas intuições e compreensões, pela incorporação do processo artístico a outros processos investigativos.

Nesse contexto, na literatura sobre esses temas encontram-se vários trabalhos relacionando a Física com a Arte de modo geral (Queiroz; Lima; Vasconcellos, 2004; Zanetic, 2006; Ferreira, 2012; Crochik, 2013; Alcântara; Jardim, 2014; Sawada; Araújo-Jorge; Ferreira, 2017), com a Música (Gama, 2006; Gomes, 2016; Goto, 2009; Lérias, 2016; Grillo; Perez, 2016), com a Dança (Vieira, 2015; Silva; Gobara, 2018; Lima, 2014; Carvalho, 2006) e também com a Literatura (Zanetic, 2006; Lima e Ricardo, 2015; Piassi, 2015).

Não obstante, no que diz respeito à possibilidade de articulação entre essas áreas de conhecimento, Ferreira (2012, p. 5) adverte que: “Estabelecer relações entre a arte e o ensino de ciências não é tarefa fácil, pois implica o conhecimento de ambas as áreas para que se percebam os contatos.”

Dessa forma, a presente reflexão contempla uma proposta para o ensino de alguns temas da Física no Ensino Médio (EM), alternativa esta que trabalha conceitos relacionados à Mecânica Newtoniana, bem como as leis a eles associados, utilizando a Arte – particularmente a Dança – como elemento de apoio, motivacional e integrativo.

Assim, considera-se a Ciência – a Física em particular – como um elemento cultural de um amplo conjunto que inclui as crenças, a arte, a lei, os costumes, valores, bem como outras capacidades e hábitos desenvolvidos socialmente pelo homem.

Nesse nível de ensino para o qual as atividades são propostas não é comum o(a)s estudantes estabelecerem ligações entre os temas típicos de uma e de outra das duas referidas áreas.

Busca-se então a aproximação desses dois conjuntos de conhecimentos situados em campos do saber que – aparentemente – não apresentam intersecções ou mesmo aproximações, contribuindo assim para superar ou ao menos minimizar a fragmentação dos saberes então trabalhados no âmbito do EM.

Além disso, a proposta pretende contribuir para tornar cativantes, “mais leves” e atrativas as atividades de ensino da Física no EM, tendo em vista que, tradicionalmente, a matéria é considerada pelos estudantes como pertencente ao “núcleo duro” do rol das disciplinas típicas dessa etapa de escolaridade.

Nas práticas oferecidas são discutidos conceitos típicos da Mecânica Newtoniana: movimentos, velocidade, aceleração, força, energia e sua conservação, torque e equilíbrio, partindo da análise de vídeos de dança em suas várias modalidades: folclóricas, clássicas, de salão, contemporâneas e/ou de competição. Para tanto, também são utilizadas fotos que registram instantâneos de bailarinos em suas performances artísticas.

As sugestões apresentadas, todas relacionadas à Dança, não pressupõem que os docentes de Física no EM sejam praticantes de alguma modalidade de dança. É suficiente que tenham empatia com os temas propostos e estejam motivados para atividades um tanto distintas das tradicionais que comumente são utilizadas para ensinar Física nesse nível de ensino.

As propostas também podem ser utilizadas nos anos iniciais dos cursos de Licenciatura que têm a Física básica em suas grades curriculares, tal qual as graduações em: Biologia, Ciências, Física, Matemática ou Química. Considera-se que, para tais estudantes, elas poderão

despertar a atenção dos futuros docentes para a importância das práticas com atividades interdisciplinares.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Transitando pelas duas áreas de conhecimento citadas – Física e Dança – é que surgiu meu interesse pelo assunto em pauta.

A possibilidade de desenvolver o presente tema decorre da minha motivação em pesquisar e refletir sobre propostas interdisciplinares para o ensino de Física, em particular articuladas com a Arte, mais especificamente com a Dança, a partir da minha experiência pessoal na área da educação.

Sou licenciado e bacharel em Física, com mestrado e doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais. Desde de 2014, atuo como professor no IFSP-BRA. Nessa instituição, ministro as disciplinas do âmbito da Física nos cursos de Licenciatura em Matemática, de Engenharia de Controle e Automação, e ainda em cursos Técnicos Integrados ao Ensino Médio em Eletroeletrônica, Informática e Mecânica. Antes disso, atuei profissionalmente – também como professor de Física e/ou disciplinas correlatas - em várias escolas públicas ou particulares de Ensino Médio e também em cursos superiores em faculdades e/ou universidades.

A partir de um hobby pessoal - a dança de salão, o tango em particular – passei a oferecer, desde 2016, um curso básico de danças de salão (bolero, forró, samba, milonga e tango) como atividade de ensino optativa para estudantes do Ensino Técnico Médio e do Ensino Superior, bem como para o(a)s professore(a)s e servidore(a)s administrativo(a)s do referido campus.

Em um segundo momento, essas atividades motivaram-me para apresentar nas aulas de Física e/ou nas aulas de danças de salão algumas considerações sobre conceitos e leis físicas que permitem explicar parte dos movimentos clássicos utilizados nas danças de salão e também em outras modalidades de dança.

Observando (empiricamente) o aumento de interesse na disciplina Física por parte dos estudantes que frequentavam o curso de dança, essas experiências levaram-me para leituras e investigações sobre o tema da interdisciplinaridade, propiciando reflexões, inquietações e questionamentos sobre suas práticas pedagógicas.

Da mesma forma, nesse curso oferecido no IFSP-BRA, pude também observar, sem uma medida formal, o despertar de interesse para o estudo da Física por parte de estudantes cujos empenhos iniciais estavam mais voltados para a área de Humanidades. O contrário também pode ser observado, também de forma empírica, ou seja, estudantes com mais inclinação para a área de Exatas passaram a apresentar interesse pela dança.

Esses estudos e práticas no IFSP-BRA resultaram inclusive em algumas atividades interdisciplinares realizadas conjuntamente com os docentes de outras disciplinas: Artes, Espanhol, Geografia, História, Língua Portuguesa e, ainda, com alguns professores da área técnica.

Além do exposto, como resultado do curso de danças de salão, na abertura de quase todos os grandes eventos anuais do campus: Semana de Matemática e Educação Matemática – SEMAT, Semana Nacional de Ciência e Tecnologia - SEMTEC, Congresso Científico da Semana Nacional de Tecnologia - CONCISTEC e Feira de Ciência e Tecnologia da Região Bragantina – BRAGANTEC, grupos de aluno(a)s e de professor(a)s passaram realizar apresentações de dança.

As atividades estabelecidas a partir dessas minhas experiências foram então ampliadas, sendo que algumas delas estão registradas em artigos de revistas científicas ou capítulos de livros, tratando de temas nesse contexto da Física com a Arte (Pantano Filho, 2020; Pantano Filho; Lourençoni, 2020; Pantano Filho; Zani, 2019; Pantano Filho; Oliveira, 2018a; Pantano Filho; Oliveira, 2018b; Oliveira e Silva; Pantano Filho, 2017).

Dessa maneira, consciente de que é possível integrar a Física e a Arte, surgiu a motivação para esse estudo, que visa à reflexão sobre possibilidades de introduzir a dança como elemento motivador no ensino da Física básica no EM.

Minha expectativa é que o estudo, a reflexão e a sistematização de conhecimentos nesse campo possa oferecer, além melhoria do meu trabalho docente, algumas propostas para o ensino de temas importantes da Física a partir dessa experiência, com a crença de que atividades dessa natureza podem tornar as aulas e/ou os cursos de Física mais interessantes para os estudantes do Ensino Médio e/ou de Licenciaturas, proporcionando uma aprendizagem mais significativa.

Dessa forma, para o presente estudo registram-se os seguintes objetivos:

- a) Objetivo geral: elaborar e analisar a implementação de uma proposta - voltada ao EM - para o ensino de Mecânica integrada com a Arte, a Dança em particular;
- b) Objetivo específico: elaborar um produto educacional que, por meio de vídeos de dança e imagens de bailarinos em momentos específicos, contemple o estudo de conceitos físicos da Mecânica básica e as leis a eles associadas.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A presente dissertação está organizada da seguinte maneira: primeiramente, apresenta-se uma reflexão sobre o conceito de cultura, levando em conta o largo espectro de significados inerentes a ele. Nesse contexto, a dança é apresentada como um dos importantes elementos culturais de diferentes grupos sociais.

Ainda dentro do mesmo capítulo, é feita uma aproximação entre Arte e Ciência, particularmente a Física, esta também apresentada como uma manifestação cultural. Ainda no mesmo contexto, são apresentados os referenciais teóricos adotados para o desenvolvimento do trabalho.

Um novo capítulo propõe a discussão dos conceitos e as leis da Física básica envolvidos no estudo, explicitando então quais deles pretende-se abordar com a proposta de ensino a ser apresentada.

Depois disso, é feita uma descrição de como foi pensado o Produto Educacional (PE) associado à presente pesquisa, descrevendo-o detalhadamente, como sugestão para utilização por parte dos docentes que também atuam com Física no EM.

Na sequência, apresenta-se a metodologia e a aplicação do referido produto, com os instrumentos de avaliação então utilizados.

Encerra-se o presente trabalho com uma análise dos resultados obtidos, bem como com algumas considerações sobre o tema em pauta.

Ao final, é apresentado o rol das referências bibliográficas que dão suporte à esta dissertação.

No Apêndice A é apresentado o PE desenvolvido.

No Apêndice B são elencadas outras sugestões com potenciais para serem utilizadas na integração entre a Física e a Dança, complementando as propostas aqui discutidas.

# Capítulo 2

## CIÊNCIA E(É) CULTURA

---

*Cultura é o sistema de ideias vivas que cada época possui. Ou melhor, o sistema de ideias a partir das quais o tempo transcorre. Porque não há jeito nem evasão possível: o homem vive sempre a partir de algumas ideias determinadas, que constituem o chão onde apoia sua existência*  
(Ortega y Gasset, 1999, p. 98-99).

### 2.1 UMA PERSPECTIVA SOBRE CULTURA

O que é cultura, ou melhor, como pode-se definir cultura? A resposta a esse questionamento não é tão imediata e também não é muito simples. A razão dessa dificuldade que se apresenta é discutida na sequência.

Sobre esse obstáculo de definição, Morgado (2014), por exemplo, ao refletir sobre cultura, considera que essa palavra assume vários sentidos tendo em vista seu uso em diferentes contextos do conhecimento humano. Guerra e Silva (2012, p. 200) também consideram que “Cultura é um termo que conota tão diversos significados quantos são os autores e atores chamados a defini-lo.”

Ao buscarem na literatura algumas considerações sobre esse tema, aqueles que trabalham com as Ciências da Natureza – físicos, químicos, biólogos e ainda os docentes dessa área de conhecimento – muito provavelmente farão um paralelo com a dificuldade que também se mostra presente quando se tenta conceituar energia. Isso porque tanto um como outro substantivo – cultura e energia - são termos muito abarcantes, ou seja, os dois têm espectros de

utilização tão abrangentes que se torna muito difícil encontrar uma única definição – tanto para um como para outro – que contemple satisfatoriamente os mais variados significados dessas duas terminologias nos contextos em que estão inseridas nos respectivos domínios de conhecimento.

Por exemplo, cotidianamente podem ser encontrados em livros ou em textos de jornais ou revistas os seguintes termos: cultura política, cultura de massas, cultura empresarial, cultura artística, cultura musical, cultura das letras, cultura científica, entre outros. Desse modo, esse leque de alternativas distintas para o uso da palavra cultura evidencia a dificuldade para estabelecer-se uma definição única que seja tão abrangente, que contemple todas essas possibilidades, além de outras possíveis.

Assim é que Reimão (1996) também considera que, dada à evolução do conceito de cultura, existe certa dificuldade para definir de maneira sintética essa terminologia. Segundo Thompson (2011, p. 165), cultura “é um conceito que possui uma longa história própria, e o sentido que ele tem hoje é, em certa medida, um produto dessa história”.

De início, nos idiomas europeus, a palavra cultura esteve associada ao cultivo ou ao cuidado de algo, tal como grãos ou animais (Canedo, 2009). A partir do século XVI, essa significação foi sendo ampliada para além dos limites do mundo agrícola, passando à esfera do desenvolvimento humano. Já no final do século XVIII e início do século XIX, o termo foi utilizado nos trabalhos de história universal da humanidade, particularmente na literatura alemã. Também no início do século XIX, pode-se encontrar “cultura” como sinônimo de “civilização”. Daí emergiu sua concepção clássica, ou seja, cultura como processo de enobrecimento das faculdades humanas (Thompson, 2000).

Cultura é um termo que diz respeito à humanidade em sua totalidade e, simultaneamente, de maneira individual a cada um dos povos, nações, sociedades e grupamentos humanos (Santos, 2006). Assim, dada à diversidade desses grupos, há que se falar em “culturas” em vez de “cultura”.

Do ponto de vista sociológico, pode-se entender cultura como o conjunto de todos elementos de ordem material e mental criado pelos homens no transcorrer do tempo e em todos os setores de uma determinada sociedade (Reimão, 1996). Considera-se também que a cultura está situada na dimensão dos signos e símbolos, dando sentido à vida do homem, seu criador. (Gomes *et al*, 2018). Ainda, segundo Ferreira (2004, p. 280), cultura é “o complexo dos padrões de comportamento, das crenças, das instituições, das manifestações artísticas, culturais, etc., transmitidos coletivamente, e típicos de uma sociedade. O conjunto dos conhecimentos adquiridos em determinado campo”. Dessa forma, pode-se dizer que a cultura está expressa na



arte, na religião, na moda, na gastronomia, nos esportes, na tecnologia, na política, nos costumes, na ciência, nos comportamentos, na literatura, entre tantas outras atividades e expressões humanas.

Continuando com a reflexão sobre cultura, registra-se também o assinalado por Santos (2006, p. 7):

Cultura é uma preocupação contemporânea, bem viva nos tempos atuais. É uma preocupação em entender os muitos caminhos que conduziram os grupos humanos às suas relações presentes e suas perspectivas de futuro. O desenvolvimento da humanidade está marcado por contatos e conflitos entre modos diferentes de organizar a vida social, de se apropriar dos recursos naturais e transformá-los, de conceber a realidade e expressá-la. A história registra com abundância as transformações por que passam as culturas, sejam movidas por suas forças internas, seja em consequência desses contatos e conflitos, mais frequentemente por ambos os motivos. Por isso, ao discutirmos sobre cultura temos sempre em mente a humanidade em toda a sua riqueza e multiplicidade de formas de existência. São complexas as realidades dos agrupamentos humanos e as características que os unem e diferenciam, e a cultura as expressa.

Nesse mesmo contexto, Morgado (2014) pontua que a cultura deve ser vista como algo dinâmico, tendo em vista que sofre influência direta das transformações experimentadas pela sociedade ao longo da história. A mesma autora também exemplifica lembrando os impactos que os meios de comunicação – rádio e televisão – produziram na sociedade, no início dos anos 30 do século passado, provocando mudanças no estilo de vida, de conduta e de costumes nas populações mundiais. Por último, a autora ainda pontua que a aquisição e a perpetuação da cultura consistem em processos sociais, decorrentes da aprendizagem.

Entendendo então cultura como um saber coletivo, também é oportuno o registro da seguinte consideração:

No século XX a cultura passa a ser tratada como um sistema ou sistemas de significação, mediante os quais uma dada ordem social é comunicada, vivida, reproduzida, transformada e estudada. Cultura torna-se então um vocábulo polissêmico e, mais que isso, em transformação, em um contínuo processo de ampliação e desdobramento de significados. Configura-se como palavra que a priori remete à nossa relação com o mundo, à civilização, ao conjunto de padrões de comportamento, crenças, conhecimentos, costumes etc. (Campomori, 2008, p. 75)

Na mesma linha de raciocínio, também merecem destaque - mais uma vez - as considerações de Guerra e Silva (2012, p. 200) sobre o conceito de cultura. Para esses dois autores:

Ela envolveria todas as expressões e processos sociais, éticos, intelectuais, científicos, artísticos de um povo nacionalmente relacionado e normalmente

ocupando e vivendo numa área geográfica delimitada, incluindo o que e como eles os transmitem. Assim a cultura descreve semelhanças partilhadas entre pessoas dentro de um território físico ou emocional, que as fazem experimentar um sentimento de unidade e de pertencimento que geralmente se desdobra em desejos de cultivo e de transmissão intergeracional.

As citações até aqui registradas evidenciam a multiplicidade de entendimentos sobre o termo cultura, alguns deles até – de certa forma - divergentes. Nesse sentido é que, sobre essa terminologia, Faria e Pessanha (2022, p. 2-3) destacam que: “Mesmo em áreas que trouxeram grandes contribuições para a formalização e/ou discussão desse conceito, como a antropologia ou a sociologia, não há um consenso”

Com essa diversidade de significados, faz-se então necessário adotar alguma referência para clarear a utilização desse conceito quando utilizado no estudo ora proposto. Para tanto, adotam-se a seguir algumas reflexões de Willian H. Sewell Jr. (2007) sobre a evolução do termo cultura no âmbito da sociologia e também da antropologia.

Ao tecer considerações sobre cultura, e ratificando uma premissa adotada logo no início dessa seção, qual seja, a multiplicidade de significados no uso do conceito de cultura, o autor inicia com a seguinte afirmação: “Não tenho a competência nem a inclinação para delinear a totalidade dos significados de cultura no discurso acadêmico contemporâneo.” (Sewell Jr., 2007, p. 162). Não obstante, ele mesmo conclui, ao final do mesmo parágrafo, afirmando que alguma tentativa de classificação se faz necessária.

Assim, o referido autor considera que “cultura é uma categoria, ou aspecto, teoricamente definida de vida social” (2007, p. 162), assinalando então que – por essa senda - consiste num abstratamento teórico da intrincada realidade humana. Além dessa afirmação, ele ainda pondera sobre um segundo significado para o termo cultura, que então: “representa um mundo concreto e delimitado de crenças e práticas. Considera-se comumente cultura nesse sentido como pertencendo a, ou como isomórfica, uma ‘sociedade’ ou algum grupo subsocial...” (2007, p. 163). Agora, a ênfase do autor é para as crenças e práticas dos diferentes grupamentos humanos, os quais ele também considera serem claramente identificáveis no contexto da discussão.

Depois de refletir sobre algumas possibilidades de significações para cultura, Sewell Jr. (2007) concentra-se em dois conceitos de cultura considerados por ele importantes e passíveis de intersecção e/ou complementaridade.

No primeiro deles, o autor reputa cultura como uma categoria teórica, um sistema de símbolos e significados, assinalando sua destacada aceitação nas décadas de 1960/70, principalmente pelas contribuições dos antropólogos norte-americanos Clifford Geertz e David Schneider. Assim, a intenção, ao adotar-se essa noção de cultura, é clarificar as influências

semióticas sobre as ações de outras influências, tais como: demográficas, geográficas, biológicas, tecnológicas, entre outras, com que estão necessariamente amalgamadas (Sewell Jr., 2017). Essa vertente, assim como outras surgidas no mesmo período, consistem numa tentativa de determinar ou classificar as estruturas dos sistemas de símbolos humanos e sua influência no comportamento humano. Nela está implícito que um conjunto de símbolos e significados estáveis têm influência nas crenças e nos comportamentos dos grupos sociais.

Não obstante a relevância dada pelo autor a essa conceituação de cultura, o mesmo também faz uma análise crítica do sistema de símbolos e significados. Para tanto, ele corrobora as opiniões de alguns críticos que consideram essa vertente da cultura como lógica, coerente, uniforme e estática. Assim, ele também se contrapõe a essa ideia, destacando o fato de a cultura, ademais, compreender ações voluntárias, relações de poder, conflitos e contradições, bem como as transformações culturais (Sewell Jr., 2007).

Assim é que ele também enfatiza – no mesmo nível da primeira - uma segunda concepção, essa de caráter mais concreto: cultura como prática. Nessa elaboração alternativa, com uso da terminologia - prática - inicialmente posta por Pierre Bourdieu (1977), o conceito de cultura – talvez o melhor agora seria utilizar no plural, ou seja, culturas - é alterado, com destaque para significados politicamente carregados, repletos de contradições, fragmentados, ou seja, agora distantes do conceito coerente, uniforme e imutável apresentado na conceituação anterior. Enfatizando a inconsistência e a maleabilidade dos significados culturais, o foco agora está nas práticas ou mecanismos pelos quais os significados são ressignificados.

Assim, ao apresentar essa segunda concepção de cultura, o autor também assinala a crítica que muitos sociólogos fazem à concepção primeira, como sistema de símbolos e significados, considerando que cultura, alternativamente, é:

... uma coleção diversa de “ferramentas” que, como a metáfora indica, devem ser entendidas como meios para a realização da ação. Como essas ferramentas são discretas, locais e concebidas para propósitos específicos, podem ser empregadas como variáveis explicativas de um modo que cultura concebida como um sistema translocal e generalizado de significados não pode (Sewell Jr., 2007, p. 169).

Analisados os dois conceitos, o autor aponta ainda que essas duas concepções - cultura como sistema de símbolos e significados e cultura como prática - podem ser articuladas. Isto porque – nas palavras do autor - sistema e prática são complementares, um pressupõe o outro. Práticas culturais para alguma finalidade utilizam símbolos, ou seja, prática implica sistema. Inversamente, o sistema não pode prescindir da sucessão de práticas que o reproduzem ou o

transformam (Sewell Jr., 2007). Assim, pode-se dizer que o autor, enfatizando as duas concepções, estabelece para cultura um aspecto dual.

Quase finalizando, Sewell Jr. (2007) pondera sobre alguns aspectos importantes para a compreensão dos processos de manutenção da cultura (como sistema) e de mudança da cultura (como prática). Assim, consideram-se aqui três deles: a) Há que se falar em culturas e não somente em uma única cultura. Ex.: cultura científica, cultura artística, cultura religiosa, entre outras possibilidades, cada uma com seu conjunto próprio de símbolos e significados que configuram sua respectiva prática; b) Culturas são autônomas, ou seja, em essência uma cultura independe de outras culturas, criando seus próprios símbolos e significados. No entanto, uma cultura pode também sofrer influências externas de outras culturas. De uma forma ou de outra, é nelas que se promove a manutenção e/ou a renovação de significados e práticas; c) São tênues as fronteiras das culturas. Em outras palavras, as culturas são fracamente delimitadas. Sendo assim, compreende-se que as culturas tidas como “distintas” podem compartilhar sistemas e práticas, de modo que alguns elementos de uma logram, igualmente, pertencer também a uma outra cultura.

Após essas reflexões sobre o tema cultura, destaca-se que esse conjunto de considerações tornam cristalino o fato de que toda prática social tem uma dimensão cultural. Portanto, voltando-se para o propósito principal do presente trabalho, nas seções seguintes registrar-se-á que o fazer artístico, tal qual o fazer científico, bem como todos os demais fazeres humanos, também têm sua dimensão cultural, ou seja, que ciência e arte – igualmente – são culturas.

## 2.2 A DANÇA COMO CULTURA

A comunicação humana – verbal e não verbal - é uma função social, que envolve transferir e partilhar informações entre os indivíduos. Gestos e movimentos, entre outros canais de comunicação, são elementos utilizados pelo ser humano para expressar, entre outras possibilidades, suas emoções e sua personalidade (Mesquita, 1997).

O indivíduo age no mundo através do seu corpo, especificamente através do movimento. Nesse sentido, a dança, entre as formas de comunicação não-verbal, se constitui numa linguagem social que transmite sensações e sentimentos vividos, sendo capaz de transmitir sentimentos que não se consegue expressar com palavras. Antes de ser técnica e arte, dançar é

uma forma de comunicar-se com o outro, uma comunicação com a qual o corpo tenta expressar sentimentos, vontades e anseios por meio dos movimentos (Pontes, 2011).

O homem começou a dançar muito antes de usar a palavra, por meio de movimentos feitos no ritmo natural de suas emoções. Os primeiros vestígios da origem da dança foram encontrados em cavernas (Figura 2.1) que datam da pré-história, nas pinturas e esculturas rupestres gravadas em suas paredes (Fahlbusch, 1990).

**Figura 2.1** – Dança na pré-história.



Fonte: Yasser El Laithy. **La pintura rupestre está relacionada con la danza ritual del Neolítico**, 2013. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dr.\\_Yasser\\_El-Leithi%E2%80%99s\\_interpretation\\_that\\_this\\_rock\\_painting\\_is\\_related\\_to\\_ritual\\_dance.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dr._Yasser_El-Leithi%E2%80%99s_interpretation_that_this_rock_painting_is_related_to_ritual_dance.jpg). Acesso em: 07 abr. 2023.

Desde a aurora da humanidade, o homem dançou para expressar seus sentimentos e emoções. De início, as danças eram individuais e se relacionavam à conquista amorosa. Num segundo momento, também na origem da civilização, surgiram as danças coletivas, que eram dirigidas às forças superiores ou aos espíritos, visando ao êxito em expedições guerreiras ou de caça, solicitando bom tempo ou chuva, ou ainda em retribuição aos deuses pelo que se conseguiu (Regert, 2007).

A dança é uma manifestação cultural de profundo conteúdo artístico, que traz em si mesma a memória social dos mais diversos povos e civilizações presentes na história da humanidade (Haun, 2018). Historicamente é um tipo de linguagem que esteve associada a movimentos sagrados, profanos e rituais de agradecimento, colheita, morte, entre outros, contemplando representações culturais de grupos sociais em determinadas épocas (Gomes *et al*, 2018).

Sobre a dança, Souza e Souza (2023, p. 5) consideram que: “... entendida como forma de expressão do homem no decurso de sua cultura e história, a dança, independentemente do contexto no qual esteve inserida, sempre propiciou historicamente condições para interpretação da realidade social e cultural...”

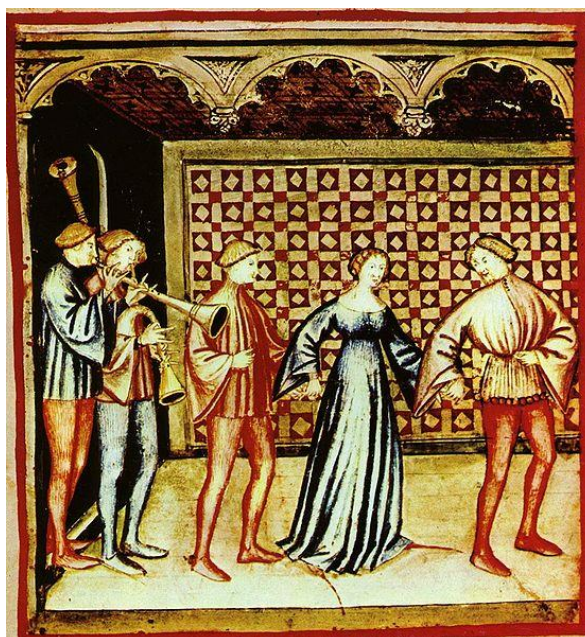
Dos primórdios da civilização ao mundo contemporâneo, a dança é parte integrante da vida do homem, com forte influência no desenvolvimento e na afirmação da identidade de um povo (Grangeiro, 2014). Sob as influências dos acontecimentos de cada época, com o passar do tempo, as formas de expressão da dança foram se transformando. Hoje, a dança é percebida por seu valor em si, como arte, muito mais do que apenas como expressão de emoções (Regert, 2007).

A dança como atividade social – inicialmente praticada pela aristocracia e pela nobreza - nasceu na Itália, no período que compreende a Idade Média e o Renascimento, no século XV. Na Renascença, ocorreram diversas mudanças no campo das artes, da cultura, da política e da religião. Na Europa, os governantes e o clero passaram a dar proteção e ajuda financeira aos artistas e intelectuais da época.

O *mecenato* tinha por objetivo fazer com que os mecenas (governantes e burgueses) se tornassem mais populares entre as populações das regiões onde atuavam. Assim, era muito comum, por exemplo, que as famílias nobres encomendassem pinturas e esculturas junto aos artistas (Pantano Filho; Lourençoni, 2020; Perna, 2001).

Dessa forma, uma nova visão do homem trouxe também uma nova visão da dança. Era um componente importante das interações sociais, particularmente entre a nobreza e a classe alta. A beleza, o refinamento e o comportamento civilizado passaram a ser valorizados, com reflexo na dança. Antes executada em praças, salões e aldeias, passou por transformações e foi se tornando cada vez mais disciplinada. Dessa forma, os passos foram organizados, anotados e codificados, possibilitando a criação de um repertório de movimentos (Cavallo, 2006).

No referido período – Idade Média e Renascimento -, a dança começou a ter um sentido social, ou seja, passou a ser praticada pela nobreza em grandes espetáculos teatrais e em festas apenas como entretenimento e recreação (Cavasin; Fischer, 2003). Assim é que, nesse período, destacam-se os mestres da dança, que ensinam os nobres a dançar, dando origem ao balé da corte, cujos temas eram inspirados na cultura grega (Ferraz, 2012). Os primeiros professores de dança e de etiqueta tinham por função assegurar aos jovens nobres o domínio das formas refinadas de comportamento (Oliveira e Silva; Pantano Filho, 2017). A Figura 2.2 a seguir, por exemplo, ilustra a título de exemplo uma dança medieval, o *estampie*.

**Figura 2.2** – *Estampie*, dança medieval.

Fonte: Saiko. **Suono e ballo, Taccuino Sanitatis**, séc. XIV. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:40-svaggi,suono\\_e\\_ballo,Taccuino\\_Sanitatis,\\_Casanatense\\_4182.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:40-svaggi,suono_e_ballo,Taccuino_Sanitatis,_Casanatense_4182.jpg). Acesso em: 07 abr. 2023.

Denominadas genericamente como danças sociais, estas passaram a ser executadas aos pares nos bailes ou nos encontros dos nobres. A dança de salão passou então a fazer parte da educação da aristocracia da época, enquanto a classe pobre praticava as denominadas danças folclóricas (Oliveira e Silva; Pantano Filho, 2017).

Nesse universo da dança, consideram-se hoje danças de salão aquelas praticadas em reuniões sociais e executadas por pares. Nos anos iniciais do século XX, o aprendizado da dança de salão incluía-se na educação da mocidade, quando o minueto, a polca, a mazurca e a valsa tiveram seus grandes reinados.

Atualmente, em pleno século XXI, a dança de salão engloba uma diversidade de gêneros, com uma variedade de andamentos que atendem tanto aos gostos dos mais jovens, bem como aos anseios de uma população com mais idade que também almeja uma vida alegre e com qualidade (Pantano Filho; Lourençoni, 2020).

Santos e Almeida (2006) assinalam que todas as sociedades têm ao menos uma dança como herança, como uma autêntica e original expressão de sua cultura, ou seja, cada dança é parte da identidade cultural de um corpo social. Assim é que Nanni (1995, p. 7) igualmente destaca que:

As Danças, em todas as épocas da história e/ou espaço geográfico, para todos os povos é representação de suas manifestações, de seus “estados de espírito”,

permeados de emoções, de expressão e comunicação do ser e de suas características culturais. Como toda atividade humana, a Dança sofreu o destino das formas e das instituições sociais.

A dança sempre ocupou lugar de destaque nas sociedades, como forma de expressão artística, como objeto de culto aos deuses ou como simples entretenimento.

Em sociedade pode-se encontrar várias modalidades de dança: as folclóricas, de rua, de salão, as danças clássicas ou as danças de competição. Essas danças podem estar voltadas: ao lazer, tal como as danças de salão ou as de rua; aos rituais, tais como as utilizadas no candomblé; às teatrais ou artísticas, tais como o ballet ou a contemporânea; às tradições populares, tais como a ciranda, o maracatu, a quadrilha de festa junina, o frevo; ou ao esporte, como as de competição; entre outras.

Cada país, com seus costumes, suas tradições, suas histórias, suas crenças, tem um ou mais gêneros musicais e de dança que o identificam, ou seja, que lhes são característicos – em determinada época - de sua cultura: Samba e forró, o Brasil (anteriormente o maxixe); Fado, Portugal; Morna, Cabo Verde; Jazz, Estados Unidos; Tarantela, Itália; Flamenco, Espanha, apenas para citar alguns casos. E assim poder-se-ia continuar listando outros gêneros típicos e seus países de origem ou onde se consolidaram.

No universo particular das chamadas danças de salão, a Milonga e o Forró – por exemplo – são dois gêneros musicais e/ou de danças sociais que bem representam, respectivamente, a Argentina (Figura 2.3) e o Brasil, assim como o fazem, da mesma forma, o Tango e o Samba.

**Figura 2.3** – Milonga, um baile social em Buenos Aires.



Fonte: TangOblivion. **Salão Canning, uma milonga de Buenos Aires, 2010.** Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Salon\\_Canning.jpg?uselang=pt-br](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Salon_Canning.jpg?uselang=pt-br). Acesso em: 07 abr. 2023.



No caso brasileiro, o Samba de Roda foi proclamado, em 2005, pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), como “Patrimônio da Humanidade”, na categoria de “Expressões orais e imateriais”. Em 2007, o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) conferiu registro oficial, no Livro de Registro das Formas de Expressão, às matrizes do samba do Rio de Janeiro: samba de terreiro, partido-alto e samba enredo (Pantano Filho, 2016). Na Figura 2.4, a título de exemplo, tem-se um grupo de Samba de Roda, dança considerada como uma importante manifestação cultural brasileira.

**Figura 2.4** – Samba de Roda.



Fonte: Maria Eugênia Tita. **Samba de Roda no Recôncavo Baiano**. 2004. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Samba\\_de\\_Roda\\_do\\_Rec%C3%B4ncavo\\_-\\_Bahia\\_-\\_3909\\_034.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Samba_de_Roda_do_Rec%C3%B4ncavo_-_Bahia_-_3909_034.jpg). Acesso em: 2 dez. 2022.

A dança é considerada então como integrante desse amplo leque de componentes que formam a identidade cultural de um povo ou nação, incluindo a música e outros elementos também intrínsecos às atividades humanas, como, por exemplo, a língua, que talvez seja, de todos, o mais significativo.

Se analisadas em seus detalhes – o que não é o caso aqui – muitas das danças foram se amalgamando ao longo dos anos, ou seja, algumas delas acabaram por influenciar outras. Dessa forma, podem ser encontrados no Bolero (uma modalidade de dança social) alguns movimentos que são típicos do Tango; o mesmo do Zouk na Lambada, entre outras possibilidades.

Assim, após essa breve análise da evolução da dança em diferentes épocas, nos contextos de diferentes povos e civilizações, bem como suas influências recíprocas, conclui-se essa seção retornando à compreensão da dimensão de movimento associada à cultura no curso

da história. Em outras palavras, a cultura “se cria, se recria, se forma, se transforma, se externaliza, se objetiva e principalmente, se universaliza (Pinto, 2007, p. 15).

### 2.3 FÍSICA COMO CULTURA: UM CAMINHO PARA ENSINAR

Via de regra, a maneira de ensinar nas escolas parte de uma fragmentação do conhecimento em algumas áreas distintas. Humanas e Exatas, por exemplo, são dois dos tradicionais campos do saber que parecem ser absolutamente díspares, como se para a área de humanas não fosse necessário o uso da mente e do raciocínio e para a área de exatas fosse dispensável o uso da emoção (Carvalho, 2006).

Particularmente sobre a Física, o ensino dos vários temas que lhe são típicos no nível do EM, utilizando-se tão somente as formulações matemáticas características e alijando-os dos contextos históricos em que foram desenvolvidos, empobrece a discussão, não motiva os estudantes para o estudo e torna o assunto analisado mais árido e de difícil a compreensão.

Assim, a prática pedagógica com disciplinas compartimentadas contribui para cristalizar no estudante a falsa noção de que as Ciências da Natureza – a Física em particular – ficam assentadas num ramo particular do conhecimento humano, enquanto que a Arte, por exemplo, ocupa outra seção do mesmo tronco, mas que não se comunica com a ramificação da primeira.

Não obstante essa prática, sabe-se que há estreitas relações entre as diversas áreas do saber humano. Em tempos atuais, são profundas e diversificadas as novas formas de compreender o mundo. As mudanças epistemológicas e socioculturais são amplas, caracterizando um processo de “mutação cultural”, sendo que a ciência tem apresentado um papel importante nesse processo (Santos, 2009).

Essas mudanças também têm implicação na educação. Nesse sentido, Pessanha (2018, p. 384), por exemplo, assinala que: “O impacto das teorias modernas na ciência desenvolvida no último século levou a reflexões sobre a sua inserção na formação básica dos estudantes, em especial, na educação em nível médio”.

Essa consideração está em consonância com o que é destacado por Japiassu (1975, p. 10) na seguinte afirmação:

Se perguntarmos, por outro lado, sobre o modo de funcionamento da ciência, sobre seu papel social, sobre sua maneira de explicar os fenômenos e de compreender o homem no mundo, perceberemos facilmente que as condições

reais em que são produzidos os conhecimentos objetivos e racionalizados estão banhadas por uma inegável atmosfera sócio-político-cultural.

Assim, para romper com aquele paradigma das áreas isoladas e quase sem comunicação, impõe-se a reflexão sobre como trabalhar os conhecimentos na escola de forma integrada. Por exemplo, ciência e arte trabalhadas de forma articulada podem propiciar aos estudantes a oportunidade para explorarem abordagens distintas sobre um mesmo tema, possibilitando assim a apropriação da ciência como algo historicamente construído e não como resultado do trabalho “mágico” de gênios que atuam em seus laboratórios de forma solitária (Guerra Moraes; Braga Barbosa; Reis Oliveira, 2009).

O fazer pedagógico por essa trilha, destacando a ciência como um produto humano, ou seja, a atividade científica como um fazer social, pode ser mais cativante para os estudantes – talvez para os professores também - e mais eficaz em termos de aprendizagem, de apreensão dos conhecimentos.

Nesse ponto, convém uma retomada na discussão sobre cultura iniciada na seção 2.1, agora em articulação com a ciência. Para tanto, destaca-se a seguir as considerações de Ladrière (1979, p. 77):

Poderíamos tomar o termo cultura no sentido muito amplo que lhe dá a antropologia cultural: tratar-se-ia, então, do conjunto das instituições, consideradas ao mesmo tempo em seu aspecto funcional e em seu aspecto normativo, nas quais se exprime certa totalidade social e que representam, para os indivíduos pertencendo a essa totalidade, o quadro obrigatório que modela sua personalidade, prescreve-lhes suas possibilidades e, de certa forma, traça, de antemão, o esquema de vida no qual poderá inserir-se sua existência concreta e pelo qual ela poderá tomar uma forma efetiva. A cultura, desse ponto de vista, não é outra coisa senão a sociedade mesma, tomada em sua realidade objetiva, enquanto impõe aos indivíduos que dela fazem parte certo estilo de existência. Os sistemas de conhecimento e os sistemas tecnológicos fazem, evidentemente, parte da cultura assim entendida.

É nesse contexto que também se considera “ciência como cultura”. Há que se pensar em ciência como um tipo de cultura (cultura científica), tendo em vista que o fazer científico é um fazer humano, social, que está organicamente envolvido com uma infinidade de outros fazeres em uma sociedade em determinado período histórico: econômico, político, artístico, entre outros. Essa concepção de ciência como cultura pode ser respaldada, por exemplo, pela seguinte consideração:

Dentro da perspectiva contemporânea, assiste-se a um alargamento acerca do conceito de cultura. A cultura passa a ser concebida como algo

multidisciplinar com sua transversalidade inerente, dando origem a recortes temáticos dentro da própria definição do termo cultura (Porto, 2011).

Assim entendendo, pode-se então defender o ensino da ciência – aqui é a Física que está em questão – articulada com outras áreas do conhecimento que geralmente compõem o currículo escolar: a história, a literatura, as artes, a geografia, entre outras várias possibilidades.

Belisário (2010), por exemplo, refletindo sobre Física e Cultura, pondera que a mecânica quântica provocou mudanças significativas no modo de vida das pessoas, tendo em vista que dessa teoria derivaram os transístores e circuitos integrados, elementos hoje utilizados em computadores, celulares e TVs, por exemplo. Além disso, também provocou um colapso da visão determinística de realidade, vigente desde o Iluminismo (Porto, 2011).

Da mesma maneira, nesse contexto da influência da Física – ou da ciência de um modo geral - no modo de vida das pessoas, o autor discute também as mudanças provocadas na visão de mundo a partir da substituição do modelo geocêntrico pelo heliocêntrico (séc. XVI/XVII) e ainda o impacto provocado pelo desenvolvimento da termodinâmica e das máquinas a vapor durante as primeiras fases da Revolução Industrial (séc. XVIII). Aponta ainda que essas relações entre ciência e modo de vida são bilaterais e também culturais, bem como considera a própria ciência como elemento da cultura humana (Belisário, 2010).

Pela mesma trilha – Ciência/Cultura -, Matos e Santos (2012) também defendem a inserção de conhecimentos oriundos de outras formas de explicar o mundo natural – diga-se diferente dos conhecimentos típicos da própria Ciência em discussão – com o propósito de enriquecer as práticas escolares e assim contribuir para ampliação do leque de visão de mundo dos estudantes.

## 2.4 REFERENCIAIS PARA REFLEXÃO

Nas seções anteriores - 2.1 a 2.3 – discutiu-se o conceito de cultura, bem como foram apresentadas considerações sobre a dança e a ciência como elementos culturais, temas esses que visam – nessa perspectiva e no contexto do presente trabalho - à integração entre Física e Arte. Para tanto, foram destacadas uma série de considerações de vários autores sobre esse tema, visando ao embasamento desse estudo.

Ainda nesse contexto do estado da arte sobre Física e Cultura, registra-se como referencial teórico para o desenvolvimento dessa pesquisa o conjunto das reflexões de João

Zanetic, da Universidade de São Paulo (Brasil), Luís Paulo Piassi, também da Universidade de São Paulo (Brasil), Glen Aikenhead, da *University of Saskatchewan* (Canadá) e Maria Eduarda Vaz Moniz dos Santos, da Universidade de Lisboa (Portugal). Assim, parte de suas concepções são apresentadas a seguir.

No contexto de aproximação entre arte e ciência, Piassi (2015), por exemplo, pontua que o caráter cultural da ciência tem sido objeto de reflexão em tempos atuais, tendo seu limiar em meados do século passado. Nesse período de umas cinco décadas, aproximadamente, pesquisadores da área de ensino de ciências, tais como Zanetic (1989; 2005; 2006) e Aikenhead (1996; 2000; 2002) vêm dando destaque ao caráter cultural da ciência, apontando ainda para algumas sendas alternativas e interessantes que as interrelações entre a arte e a ciência podem oportunizar no âmbito da educação escolar.

Zanetic (2006) também aponta esse aumento de iniciativas que tentam estabelecer pontes entre arte e ciência, citando que algumas delas – na visão do autor – são muito ricas, estabelecendo ligações da física com a literatura, com a música, com o teatro, com o cinema, com as artes plásticas, entre outras.

Iniciando as reflexões desses autores supracitados, dá-se primeiramente destaque justamente às afirmações de Zanetic sobre o fato de que raramente a física comparece quando das ponderações sobre cultura. Assim, sobre esse tema, o autor assinala que cultura é – na maioria das vezes – relacionada com obra literária, com peça sinfônica ou com pintura, entre outras possibilidades, mas não com ciência. Cita, inclusive, o que, geralmente, vem à mente das pessoas: um quadro da Tarsila do Amaral, uma sinfonia de Villa Lobos, um romance de Machado de Assis, quando se pensa em cultura “erudita”. De outro lado, na cultura dita “popular”: a capoeira, um samba de Noel Rosa ou ainda um tango de Carlos Gardel. As Leis de Newton, as Leis da Termodinâmica ou as Equações de Maxwell sempre estão fora desses dois róis (Zanetic, 1989, 2005).

Não obstante esse equívoco – qual seja, o de excluir a ciência do amplo espectro da cultura - o autor destaca sua convicção de que física é cultura e, sendo assim, deve participar da formação cultural do cidadão contemporâneo, em que pesem os eventuais e distintos interesses individuais e a multiplicidade de motivações acadêmicas e/ou profissionais. Justifica que, em tempos atuais, a compreensão do mundo exige que o cidadão domine o discurso da modernidade, sendo a ciência um dos seus mais importantes alicerces (Zanetic, 2006).

Nesse contexto, destaca ainda que – de posse desse conceito, física como cultura – pode-se eleger uma outra perspectiva para ensinar Física no EM, tendo em vista que, no formato

tradicional do ensino, a maioria dos estudantes não se sente motivada ao estudo dessa ciência (Zanetic, 2006). Diz ele:

Acredito que a física, bem como as outras ciências, bem trabalhada na escola, pode muito bem ser um instrumento útil tanto para o pensador diurno, dominado pelo pensamento e discurso racionais, quanto para o pensador noturno, marcado pelo pensamento imaginário e sonhador. A grande ciência, que nos seus momentos criativos de ruptura nasce do encontro dessas duas vertentes, tem tudo para satisfazer o pensador que apela para o fantástico, para a imaginação, para o vôo do espírito. Precisamos construir a ponte entre as duas culturas [...] (Zanetic, 2006, p. 69).

Retornando a Piassi (2015), aponta-se agora que o autor, ao reflexionar sobre a relação entre ciência e literatura (como cultura e/ou arte), assinala que o conhecimento escolar deve ser entendido como uma rede de elementos culturais interligados de formas múltiplas e complexas. Nesse contexto, ele ainda pondera que a literatura consiste numa produção que desempenha papel central na difusão social dos conhecimentos científicos, destacando que:

o hábito e o gosto pela leitura, as habilidades de interpretação e análise, e a percepção da ciência como cultura, frequentemente distantes das aulas e atividades de ciências, constituem alguns dos aspectos formativos fundamentais que uma articulação entre ciência e literatura supostamente podem trazer (Piassi, 2015, p. 34).

Em outro trabalho de sua autoria – este sobre ciência e ficção científica – Piassi (2012) também reflete sobre a questão da cultura da sala de aula versus aquela primeira trazida pelos jovens estudantes. Em consonância com outros autores por ele citados, ele defende que a cultura trazida pelos jovens deve ser aproveitada, deve ser o ponto de partida para qualquer trabalho pedagógico. Mais ainda, que a cultura elaborada (a da sala de aula) não substituirá a cultura primeira, mas sim será incorporada em um processo dialético, a partir do ponto de vista cultural dos estudantes.

Assim, evidencia ele:

O sentido do conhecimento é preservado para o aluno na medida em que seja capaz de aproveitar seus elementos culturais e vislumbrar no conhecimento científico instrumentos capazes de dar respostas às suas inquietações (Piassi, 2012).

Piassi (2007) também considera que as atividades propostas para os estudantes não podem ser um produto acabado de ciências. Enfatiza que a compreensão em si de um conceito só se concretiza quando vinculada a uma adesão afetiva por parte do estudante ao conhecimento

que lhe é proposto. E a chave para essa adesão afetiva está em colocar questões que digam respeito ao estudante enquanto ser humano, cultural e social.

Isso posto, ele assinala a existência de um campo de estudo para as interconexões entre arte e ciência, argumentando não ser esse tema uma mera especulação acadêmica, mas sim algo que tem espaço no ambiente escolar, tanto na sala de aula, como fora dela, nas práticas do professor de ciências ou em um projeto coletivo (Piassi, 2015).

Por fim, ele ainda destaca que essa forma de encarar ciência como cultura se opõe à concepção disciplinar de áreas autônomas entre si, que acaba por determinar isoladamente um conjunto de conhecimentos que estão desconectados da vida cultural do estudante quando fora do ambiente escolar (Piassi, 2015).

Santos (2009, p. 530), por sua vez, percorrendo a mesma trilha de Piassi, assinala que a “sociedade humana vive imersa na cultura”. E mais, registra que a cultura representa a realidade criada pelo homem, sendo o que o distingue das demais criaturas.

Assim, com essa concepção em mente, Santos (2005a) também reflete sobre o entendimento de ciência como cultura, defendendo que para a construção de uma “ciência para as pessoas” faz-se necessário nutrir o saber científico com outros saberes, derrubando obstáculos e estabelecendo as bases epistemológicas adequadas para pensar articulações entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS). Para ela, o debate sobre ciência / cultura / cidadania e tecnologia, favorece a “cientifização” da cidadania: uma forma de aproximar o cidadão da ciência, bem como a “civilização”: uma forma de aproximar a ciência do cidadão (Santos, 2009).

A autora, também em suas reflexões sobre a educação científica escolar (ECE), destaca ainda o papel diferencial dessa concepção “ciência como cultura”, tendo em vista que ensinar ciência nessa perspectiva consiste num fazer pedagógico muito diferente de ensinar ciência sob a visão de “ciência pura” (Santos, 2009).

Desse modo, segundo a mesma autora, com esse entendimento “a ECE entrecruza as culturas científica e humanista com a cultura técnica, ou seja, com a ‘cultura do fazer’” (Santos, 2009, p. 535). Enfim, chamando a atenção para os laços sociais que unem as sociedades à técnica e à ciência, ela destaca a importância de se promover a consciência tecnológica (pessoal, social, moral, econômica e, sobretudo, ambiental), alertando para o perigo da ideologia tecnocrática, que pretende resolver as questões humanas através da ciência e da tecnologia, na ausência de questionamentos sociopolíticos ou éticos. Por fim, ainda assinala:

Com a ciência como cultura pretende-se que a ECE contribua para diluir o império do “conhecimento regulação” em prol do “conhecimento

emancipação” atenuando o domínio da racionalidade instrumental da ciência com racionalidades sociais, levando a reflectir sobre o seu estatuto e propósitos (Santos, 2009, p. 535).

Glen Aikenhead é outro destacado pesquisador que tem refletido a questão do ensino de ciências e também proposto alternativas. Num de seus ensaios, ele aponta que nos últimos cinquenta anos, os educadores de ciência continuam sem sucesso em responder um mesmo dilema: “como preparamos os estudantes para serem cidadãos informados e ativos e, ao mesmo tempo, como preparamos futuros cientistas, engenheiros e médicos?” (Aikenhead, 2003, p. 120). Assim, em suas reflexões sobre essa problemática, ele também tem transitado sobre o tema ciência como cultura.

No contexto de suas ponderações, há que se registrar primeiramente que Aikenhead destaca que a comunidade científica tem sua linguagem própria, bem como suas crenças, valores, convenções, expectativas e tecnologias. Assim, ele considera que esses atributos já definem uma cultura, a cultura científica (Aikenhead, 2002).

Desse modo, sobre o conceito de ciência como cultura, Aikenhead apresenta a seguinte concepção: a ciência, particularmente a ocidental, é uma entidade cultural em si mesmo e uma das muitas subculturas da sociedade. Ele considera que, em comunidade, as pessoas vivem e coexistem dentro de muitas subculturas, que podem ser facilmente identificadas, tal como, pela língua, pela etnia, gênero, classe social, ocupação, religião e localização geográfica, entre outras. Assim, na vida em coletividade, as pessoas passam cotidianamente de uma subcultura para outra, processo esse ao qual ele dá a denominação de “travessia cultural de fronteiras” (Aikenhead, 2000).

Por esse caminho, Aikenhead considera que as salas de aula, as de ciências em particular, são subculturas da cultura escolar maior, assim como também o são a matemática, a geografia, a arte, entre outras. Dessa forma, geralmente os estudantes experimentam uma mudança de cultura quando passam de seus mundos da vida cotidiana para o mundo das ciências escolares. Portanto, sob esse prisma, aprender ciências para esses estudantes consiste em uma travessia cultural, um evento transcultural (Aikenhead, 2000).

Ainda pela mesma senda, ele também pondera que nessa travessia de fronteiras os estudantes podem ser melhor sucedidos na tarefa se receberem ajuda para a passagem das fronteiras culturais, sendo que esse auxílio pode vir do professor – o mediador de cultura - que consegue identificar antecipadamente as fronteiras culturais a serem transpostas por seus aprendentes. Assim, o papel do mediador consiste em orientar seus estudantes na passagem de



um lado para o outro, ou seja, de uma subcultura para outra, através de suas fronteiras (Aikenhead, 2000).

Nesse contexto da travessia cultural, ele também considera que as identidades culturais centrais dos estudantes podem não estar em acordo com a subcultura da ciência em diferentes graus. O professor então – nesses casos - deve contribuir para que os estudantes entendam os conflitos culturais que eventualmente surgem nesse trânsito de um ambiente para outro, motivando-os e ainda aproveitando do impacto que a ciência (e também a tecnologia) tem sobre seus mundos de vida (Aikenhead, 2000, 2002).

Por outro lado, ele ainda considera que há estudantes que já têm identidades e habilidades bem harmonizadas com a cultura da ciência, de modo que a passagem para a subcultura da ciência escolar é suave, ou seja, as fronteiras praticamente não existem para esses estudantes (Aikenhead, 2000).

Ainda sobre os estudantes, Aikenhead destaca também que grande parte deles considera que o conteúdo da ciência, no sentido mais ortodoxo, tem pouca ou quase nenhuma relevância para suas subculturas do mundo da vida. Nesse contexto, ele ainda cita vários estudos que apontam que a ciência aprendida na escola é aprendida como ciência na escola, e não como ciência em outros de seus ambientes; que eles consideram que o conteúdo científico tradicionalmente aprendido na escola raramente pode ser aplicado ao mundo cotidiano (Aikenhead, 1996).

Para ele, a ciência escolar espera que o estudante adquira as normas, valores, crenças, expectativas e ações convencionais da ciência (a subcultura da ciência), tornando-as parte de seu mundo pessoal em graus variados. No entanto, a ciência escolar muitas vezes falha ao tentar transmitir uma visão precisa da ciência. O currículo de ciências que é praticado fornece aos estudantes – invariavelmente - uma imagem estereotipada da ciência: socialmente estéril, autoritária, não-humanista, positivista e de verdade absoluta. Quando esse estereótipo da ciência é transmitido em uma aula, a ciência é apresentada como sem cultura, ou seja, ela é apresentada aculturalmente e como “verdade” (Aikenhead, 1996, 2002).

Continuando sua reflexão sobre o significado de considerar a ciência escolar como um fenômeno cultural, ele pondera que, nessa abordagem, a aprendizagem do aluno celebra o processo de “vir a conhecer”, explorando também as dimensões políticas dessa concepção (Aikenhead, 2000).

Assim, ele destaca que aprender ciências como fenômeno cultural consiste em uma atividade que envolve os estudantes, propiciando maior participação em uma comunidade de prática, que possibilita o enriquecimento intelectual dos educandos no contexto de sua

identidade cultural. Para ele, a comunidade de prática para estudantes engajados na criação de cultura é a rede de comunidades dentro da qual as identidades dos estudantes mais comumente tomam forma (Aikenhed, 2000).

Embora outros autores poderiam ter sido citados, bem como distintos temas poderiam ter sido ainda mencionados e desenvolvidos, entende-se que o propósito desse capítulo foi cumprido. Não obstante essas eventuais lacunas, a finalidade era estabelecer a concepção de Física como cultura, ou melhor, como uma das subculturas de algo mais amplo, no caso a cultura escolar no contexto desse trabalho. Essa conceituação das várias subculturas e ainda o entendimento de que o estudante vive cotidianamente transitando de uma para outra, alarga – para o professor – os caminhos de como trabalhar essa disciplina no âmbito do EM, de modo a contribuir na formação científica do estudantes, visando ao seu pleno desenvolvimento como cidadão.

Nas buscas por sendas pedagógicas, e com essa premissa em mente, seguramente será possível encontrar e/ou criar possibilidades de interação da Física com várias outras subculturas: a arte, a literatura, a música, a história, entre outras. Se interligadas e com “pontes” de transição mais suaves de um para outra, elas poderão ser integradas, podendo contribuir para que o estudante venha a aderir afetivamente aos conhecimentos que lhe são propostos, principalmente se ele encontrar no conjunto as interseções com sua subcultura do mundo da vida, ou seja, se conseguir, com isso, conectar sua subcultura escolar com aquela de quando fora do ambiente da escola.

## 2.5 BREVE CONSIDERAÇÃO SOBRE INTERDISCIPLINARIDADE

No mundo contemporâneo, ampliaram-se significativamente as informações disponíveis e os conhecimentos sobre qualquer tema, revelando a ineficiência de uma só disciplina – no âmbito acadêmico - explicar os diversos e complexos fenômenos da vida atual (Fortunato; Confortin; Silva, 2013). Justifica-se assim a importância dos trabalhos pedagógicos com viés interdisciplinar.

Uma reflexão sobre interdisciplinaridade e seus correlatos (multi e transdisciplinaridade) – diga-se de passagem, bastante presente na pauta das discussões acadêmicas – seria longa e demandaria um bom trabalho à parte. Aqui, pela natureza da

proposta deste estudo, é apresentada apenas uma breve discussão sobre esse conceito, tendo em vista que a proposta da pesquisa e o Produto Educacional decorrente contemplam um diálogo entre Ciência e Arte.

Interdisciplinaridade pode ser definida como um processo de integração entre duas ou várias disciplinas ou áreas de conhecimento, com a finalidade de, a partir de um trabalho conjunto, romper com as estruturas de cada uma de modo a obter uma visão unitária e comum do saber (Zabala, 1998). A interdisciplinaridade possibilita a construção do conhecimento de maneira mais abrangente, abrindo as fronteiras de saberes compartimentados, restabelecendo o diálogo entre as áreas de conhecimento e, assim, integrando seus conteúdos. Para tanto, tem-se que estabelecer pontes de comunicação entre as disciplinas que, em geral, estão estruturadas individualmente em seus contextos (Schossler, 2013). Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais:

O conceito de interdisciplinaridade fica mais claro quando se considera o fato trivial de que todo conhecimento mantém um diálogo permanente com outros conhecimentos, que pode ser de questionamento, de confirmação, de complementação, de negação, de ampliação, de iluminação de aspectos não distinguidos (BRASIL, 2000, p. 75).

A interdisciplinaridade possibilita passar-se de uma concepção fragmentária para uma concepção unitária do conhecimento. No processo, os estudantes são incentivados a estabelecer relações entre os diferentes conteúdos das diversas disciplinas do currículo acadêmico. Sobre essa prática, Bochniak (1998, p. 21) assinala que:

De modo geral, a interdisciplinaridade esforça os professores em integrar os conteúdos da história com os da geografia, os de química com os de biologia ou, mais do que isso, em integrar com certo entusiasmo no início do empreendimento os programas de todas as disciplinas e atividades que compõem o currículo de determinado nível de ensino [...]

Pode-se dizer então que a interdisciplinaridade rompe com o paradigma positivista no ensino, que fragmenta o saber, alimenta a especialização e eclipsa a noção do todo. Não significa que o conhecimento especializado deva ser substituído; na verdade, faz-se necessário uma ligação entre os distintos saberes para que se possa olhar e apreender o conhecimento de forma mais abrangente (Pagliarini, 2004). Em outras palavras, a interdisciplinaridade apresenta-se como alternativa para eliminar a fragmentação do saber, promover a interação e as relações entre as diversas áreas do conhecimento (Fonseca et al, 2015). Projetos interdisciplinares geralmente tiram os professores do centro do processo, estimulam os educandos a serem atores

participativos na construção do conhecimento, bem como propiciam práticas coletivas, dialogadas e solidárias.

Com esse pressuposto de uma visão mais geral da educação, com sentido progressista e libertador, podendo contribuir para a construção de uma escola participativa e decisiva na formação social do indivíduo, é que se propõe estabelecer um diálogo entre duas áreas de conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a Física em particular, com Linguagem e suas Tecnologias, a Arte em especial.

Nesse contexto da discussão sobre interdisciplinaridade, finaliza-se então esse capítulo no qual buscou-se estabelecer um paradigma para o conceito de cultura, bem como situar a dança e a ciência como elementos culturais.

Tendo em vista que a proposta deste trabalho consiste em oferecer um conjunto de atividades – tendo a dança como tema de motivação - para o ensino de conceitos relacionados à Mecânica Newtoniana e as leis a eles associados, no capítulo seguinte propõe-se uma revisão dos elementos básicos desse ramo da ciência e que serão utilizados no produto educacional.

# Capítulo 3

## FUNDAMENTOS DE MECÂNICA

### NEWTONIANA

---

*Se longe enxerguei é porque estive apoiado em ombros de gigantes.*  
(Newton, 1675).

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O conteúdo de Física apresentado na presente pesquisa, bem como no PE nela desenvolvido, está relacionado à aplicação das três Leis de Newton e seus desdobramentos. Assim, neste capítulo são apresentados e discutidos os três Princípios da Mecânica Newtoniana, bem como são analisados alguns movimentos particulares com base nos mesmos, tendo em vista que esses movimentos estarão presentes no PE desenvolvido. Considerações sobre Energia Mecânica e a Lei de Conservação a ela associada também são contemplados, além de algumas considerações sobre o equilíbrio de partículas e de corpos rígidos.

#### 3.2 FUNDAMENTOS DE MECÂNICA NEWTONIANA

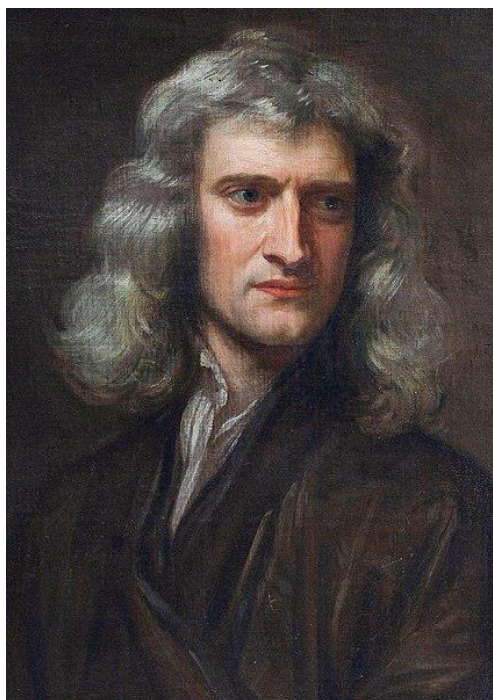
Nas seções seguintes são apresentados alguns elementos da Mecânica Newtoniana, iniciando-se a discussão com as denominadas Leis de Newton. Em seguida, os três princípios

são utilizados para a compreensão dos movimentos dos corpos no campo gravitacional, nas proximidades da superfície terrestre, bem como para o entendimento da dinâmica dos movimentos em trajetórias circulares. Na sequência, são apresentados os conceitos de trabalho e de energia, bem como a Lei de Conservação associada à energia mecânica. O conteúdo é apresentado no nível de um curso introdutório de Física, comum nos primeiros anos universitários da área de Exatas. Finaliza-se o capítulo com uma breve discussão sobre a Física envolvida na dança, objeto principal do presente trabalho.

### 3.2.1 Newton e as Leis do Movimento

Isaac Newton nasceu na sede da fazenda de propriedade de sua família, próxima de Woolsthorpe, lugarejo situado no nordeste da Inglaterra, em 25 de dezembro de 1642. Foi um matemático, físico e astrônomo inglês, descrito em seus dias como um “filósofo natural”. Seu nome é amplamente considerado quando são relacionados os cientistas mais influentes de todos os tempos (Ponczek, 2011); é, sem dúvida alguma, uma das figuras-chave na chamada Revolução Científica, um dos mais importantes e o mais influente cientista na História (Rosa, 2012)

**Figura 3.1** - Retrato de Isaac Newton (1642-1727).



Fonte: HOHUM. **Retrato de Isaac Newton (1642-1727)**. 2022. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg>. Acesso em: 2 dez. 2022.

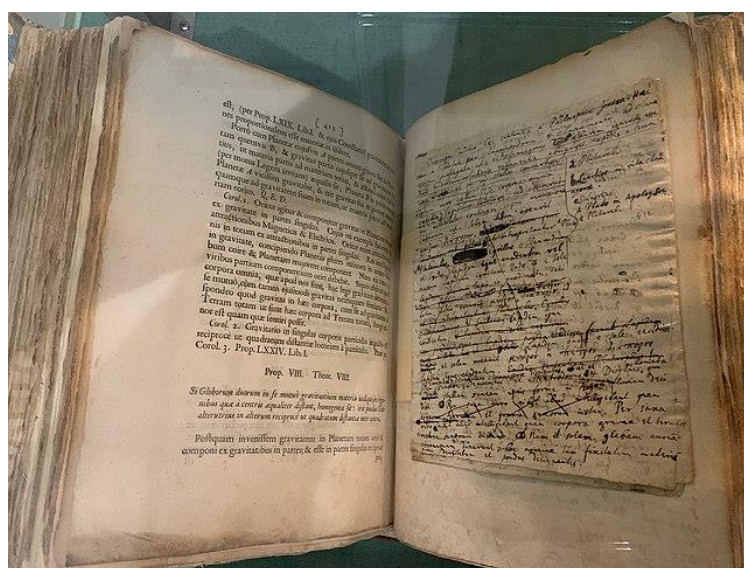
Segundo Bronowski (1977, p. 39): “Newton possuía uma dessas inteligências que não se deixam distrair, tinha o dom de isolar e eliminar cada alternativa lógica, que é apanágio do experimentador perspicaz e do cientista teórico também; que é, muito simplesmente, apanágio de um espírito profundo”.

Newton faleceu em 20 de março de 1727, em Londres. Por ocasião de seu falecimento, os jornais da época noticiaram manchetes nas quais ele foi descrito como o “maior dos filósofos e a glória da nação britânica”. Foi enterrado na Abadia de Westminster, ao lado de outros grandes nomes do Reino Unido (Valadares, 2003).

Sua principal obra, intitulada *Principios Matemáticos da Filosofia Natural*, abreviadamente conhecida como *Principia*, publicada em 1687, lançou as bases da Mecânica Newtoniana. Além disso, Newton também fez contribuições seminais à Óptica e compartilha crédito com o alemão Gottfried Wilhelm von Leibniz pelo desenvolvimento do Cálculo Infinitesimal.

No *Principia* Isaac Newton propõe um conjunto de três leis fundamentais que regeriam todos os fenômenos da Mecânica. Através delas, seria então possível a solução do problema básico desta ciência, a saber, a descrição do movimento de qualquer corpo, uma vez conhecidas as forças que sobre ele atuam, bem como suas condições iniciais de posição e velocidade (Porto; Porto, 2008).

**Figura 3.2** - Cópia pessoal de Isaac Newton da primeira edição do *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* anotada por ele para a segunda edição.



Fonte: BILLTHOM. *Isaac Newton's personal copy of the first edition of Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica annotated by him for the second edition*. 2019. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Newton%27s\\_Annotated\\_copy\\_of\\_his\\_Principia\\_Mathematica.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Newton%27s_Annotated_copy_of_his_Principia_Mathematica.jpg). Acesso em: 2 dez. 2022.

Com seu caráter de universalidade e previsibilidade, pode-se afirmar que a obra de Newton se situa no rol dos eventos mais importantes da história do pensamento humano; é um dos mais notáveis acontecimentos em toda a história da Física (Cohen, 1967). Seu impacto sobre a ciência foi tal que produziu “um imenso otimismo, relacionado à capacidade aparentemente ilimitada do Homem de compreender o mundo a sua volta” (Porto; Porto, 2008, p. 2).

Obviamente, as teorias de Newton não surgiram da noite para o dia, ou seja, não foram frutos de um *insight* do grande pensador do período Iluminista; foram sim gestadas durante décadas de estudos por parte de seu autor. Além disso, como ele próprio reconheceu, suas reflexões estavam alicerçadas nos importantes trabalhos de seus predecessores. Nesse sentido, pode-se registrar os estudos que foram desenvolvidos algumas décadas antes de Newton, tais como os de Nicolau Copérnico, Giordano Bruno, Galileu Galilei, Johannes Kepler, René Descartes, entre outros, bem como naqueles situados duas dezenas de séculos antes de Copérnico, mais especificamente os de Aristóteles, Tales de Mileto ou Aristarco de Samus. (Zanetic, 1988; Ponczek, 2011)

O enfoque da história da ciência (HC) para melhor compreensão das concepções de Newton sobre a Mecânica é um caminho bastante interessante para iniciar o desenvolvimento de um curso introdutório nessa área, tendo em vista que a utilização da HC humaniza o fazer científico, bem como permite aos estudantes a compreensão de que a ciência não é neutra e que seu desenvolvimento está inserido em determinado contexto histórico-cultural. Além disso, Rocha (2011) também pontua que a HC pode contribuir para superar o “mar de falta de significação” para um conjunto de fórmulas e equações que são postas sem que muitos possam apreender seus significados.

Nesse sentido, Zanetic (1988, p. 23) faz uma consideração sobre o tema que vale a pena ser aqui reproduzida:

O escritor argentino Jorge Luís Borges, em um de seus escritos, afirma que em cada período histórico um autor inventa os seus predecessores. Pode-se dizer que, com a publicação dos “Principia” de Isaac Newton, há exatamente trezentos anos, ou, melhor ainda, com a aceitação da mecânica newtoniana, a partir do século XVII, inicia-se uma espécie de “arqueologia” do pensamento pré-newtoniano, buscando descobrir as raízes, as fontes de inspiração, os personagens, os acontecimentos históricos, enfim, todo o clima que permitiu o nascimento da mecânica moderna.

Não obstante o valor do uso da HC para melhor compreensão das inúmeras teorias científicas e os avanços da ciência ao longo do tempo, esse caminho não será aqui utilizado



dada à especificidade do presente trabalho. Assim, nos itens seguintes passa-se diretamente à apresentação das Leis de Newton e suas aplicações nas análises de alguns movimentos peculiares.

### 3.2.1.1 A Primeira Lei de Newton ou Princípio da Inércia

A chamada Primeira Lei de Newton é também amplamente conhecida como Princípio da Inércia. Seu enunciado original é o seguinte:

Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele (Newton, 2002, p. 53).

É preciso certo cuidado para interpretar a Primeira Lei. Deve-se observar que ela não diz respeito a um corpo submetido a múltiplas forças que se cancelam, ou seja, um sistema de forças com resultante nula. O Primeiro Princípio traduz o que ocorre na ausência de forças sobre o corpo. A questão de um corpo sob ação de forças externas que se equilibram está contida na Segunda Lei. De certa forma, a Primeira Lei permite também a definição de força como algo que é externo ao corpo, ou seja, que não lhe é próprio e sim resultado de interação com outro corpo.

Também está implícito na Primeira Lei o conceito de inércia, este como sendo uma propriedade intrínseca ao corpo, algo que lhe próprio, que mede a “resistência” (não é o melhor termo) que o mesmo oferece à alteração de seu estado de movimento ou, em outras palavras, a sua incapacidade de, por si só, alterar seu próprio estado. Essa propriedade do corpo, ou seja, a inércia, é medida pela massa (ou melhor, massa inercial) do mesmo. No sistema Internacional de Unidades (SI), a massa tem por unidade o quilograma (kg).

Ainda mais, a Primeira Lei estabelece de fato os referenciais para os quais as três Leis são válidas, ou seja, os chamados referenciais inerciais, pois, em geral, a aceleração de um corpo depende do sistema de referência em relação ao qual ela é medida. Para Newton, um referencial dessa natureza seria aquele com origem relativamente distante de outros corpos (talvez para ele o centro de massa do sistema solar) e com os três eixos voltados para três estrelas fixas. Qualquer outro referencial em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme em relação a esse primeiro é também considerado um referencial inercial.

Um referencial fixo em um ponto na superfície da Terra, que é geralmente utilizado para análise dos movimentos cotidianos, pode ser considerado como sendo aproximadamente

inercial dada à pequena aceleração decorrente do movimento desse ponto em torno do próprio eixo terrestre, bem como daquela da Terra em seu movimento orbital em torno do Sol.

Assim, pode-se enunciar a Primeira Lei do Movimento da seguinte forma:

Se um corpo não interage com outros corpos, é possível identificar um sistema de referência em que o corpo tem aceleração zero (Serway; Jewett Jr., 2015, p. 103).

Ou ainda:

Na ausência de forças externas, quando visualizado a partir de um referencial inercial, um corpo em repouso permanece em repouso e um corpo em movimento continua em movimento com uma velocidade constante (isto é, com uma velocidade constante em linha reta) (Serway; Jewett Jr., 2015, p. 104).

Matematicamente, pode-se então escrever:

$$\vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \vec{a} = \vec{0} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Nos três enunciados apresentados, o termo corpo deve ser entendido como um corpo pequeno, sólido, indeformável, cujas dimensões podem ser desprezadas em face dos demais comprimentos envolvidos. Nesses casos, costuma-se dizer que o corpo é uma “partícula”. Claro que um objeto sem dimensões não existe na natureza, no entanto, em muitas situações, objetos reais podem ser considerados com dimensões desprezíveis em relação às demais distâncias presentes. Casos outros, mais gerais, para corpos extensos, há necessidade de algumas outras “ferramentas”, bem como análises um pouco mais abrangentes.

### 3.2.1.2 A Segunda Lei de Newton ou Princípio Fundamental da Mecânica

A chamada Segunda Lei de Newton é também amplamente conhecida como Princípio Fundamental da Mecânica. Seu enunciado original é o seguinte:

A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida (Newton, 2002, p. 54).

Em uma linguagem mais atual, tem-se:

Quando vista de um referencial inercial, a aceleração de um corpo é diretamente proporcional à resultante das forças que agem sobre ele e inversamente proporcional à sua massa. (Serway; Jewett Jr., 2015, p. 105)

Essa segunda versão, em uma linguagem mais contemporânea, na verdade corresponde ao caso particular de o corpo possuir massa constante, o que acontece numa ampla variedade de fenômenos cotidianos. De uma forma mais geral, a Segunda Lei pode ser escrita assim:

A força que atua sobre uma partícula é igual à taxa de variação do momento linear da partícula em relação ao tempo (Penereiro, 2016, p. 95).

Matematicamente, pode-se então escrever:

$$\sum \vec{F}_{ext} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Na expressão, o termo  $\sum \vec{F}_{ext}$  representa a resultante de todas as forças atuantes sobre o corpo e  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$  o momento linear a partícula, sendo  $m$  sua massa e  $\vec{v}$  sua velocidade.

Então, desenvolvendo a equação, tem-se:

$$\sum \vec{F}_{ext} = \frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt}$$

$$\sum \vec{F}_{ext} = \frac{dm}{dt} \cdot \vec{v} + m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Dessa forma, para os casos em que  $m = \text{const.}$ , tem-se:  $\frac{dm}{dt} = 0$

$$\sum \vec{F}_{ext} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\sum \vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a} \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Esta última é a expressão correspondente à Segunda Lei na forma como é apresentada no Ensino Médio, bem como em parte dos cursos introdutórios de Física no Ensino Superior.

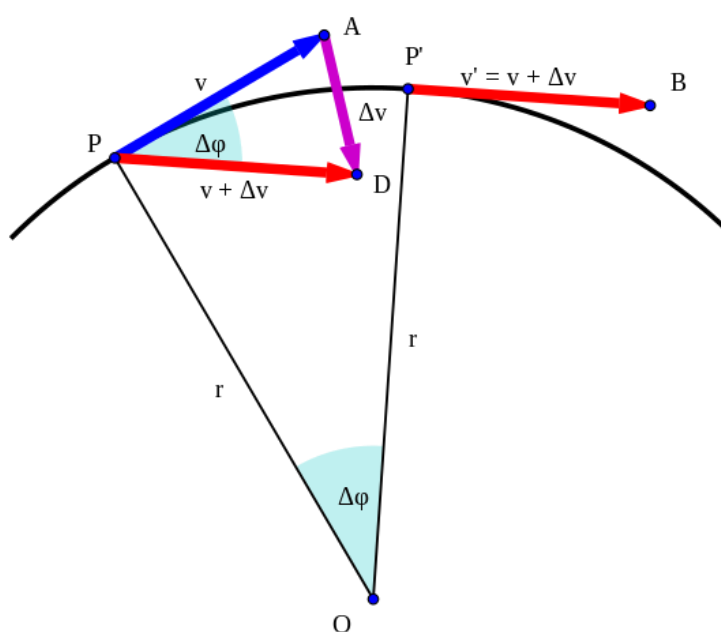
No Sistema Internacional de Unidades (SI), conforme já registrado anteriormente, a massa é medida em quilograma (kg). No mesmo SI, a intensidade da força é medida em newton (N) e a aceleração da partícula em metro por segundo ao quadrado ( $\text{m/s}^2$ ). Sendo assim, a relação entre elas é a seguinte:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$$

Um dado importante que merece destaque é o fato de a resultante e a aceleração estarem dirigidas na mesma direção e sentido. Assim, a massa “m” é sempre traduzida por uma quantidade positiva. Já com relação à velocidade não se pode dizer o mesmo, ou seja, a velocidade pode estar numa direção diferente da aceleração e da resultante das forças externas aplicadas ao corpo.

Na Figura 3.3 a seguir, o caso de um movimento curvilíneo, pode-se observar que  $\Delta\vec{v}$ , portanto,  $\vec{a}$  e também  $\sum \vec{F}_{ext}$  têm a mesma direção, porém diferente de  $\vec{v}$ .

**Figura 3.3** – Aceleração centrípeta.



Fonte: MANUS. **Aceleração centrípeta.** 2008. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CentripetalAcceleration.svg>. Acesso em: 2 dez. 2022.

### 3.2.1.3 A Terceira Lei de Newton ou Princípio da Ação e Reação

A chamada Terceira Lei de Newton é também amplamente conhecida como Princípio da Ação e Reação. Seu enunciado original é o seguinte:

A toda ação há sempre oposta uma reação igual ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas (Newton, 2002, p. 54).

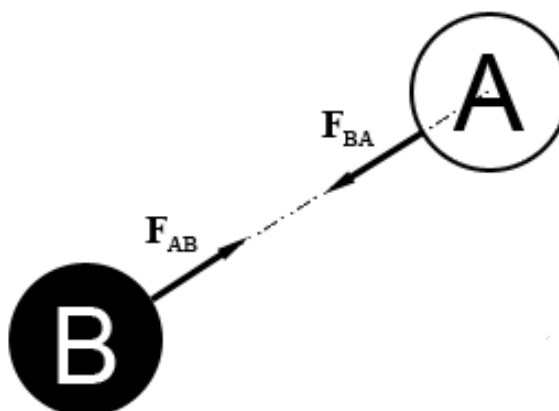
Mais uma vez, trazendo a redação do terceiro princípio para uma linguagem mais atual, tem-se:

Quando dois objetos interagem, exercem forças mútuas um sobre outro. Essas forças são sempre iguais em módulo, opostas em sentido e atuam em objetos diferentes (Penereiro, 2016, p. 95).

Deve-se observar, conforme mostra a Figura 3.4, que as forças de ação e reação atuam em corpos distintos. Assim, quando duas forças atuarem sobre o mesmo corpo, mesmo sendo iguais em módulo e opostas em sentido, elas não vão constituir um par ação-reação.

Graficamente, pode-se ilustrar a terceira lei da seguinte forma:

**Figura 3.4** – Lei da Ação e Reação.



Fonte: SNOWSAND. **Illustration of Strong Law of Action and Reaction**. 2007. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:StrongLaw.gif>. Acesso em: 2 dez. 2022.

Pode-se escrever então:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA} \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Termina-se aqui a apresentação das três Leis da Mecânica, todas atribuídas a Newton, esse importante personagem do Iluminismo. Sua envergadura intelectual foi comentada por Albert Einstein ao festejar o bicentenário da morte de Newton, com a seguinte consideração:

Desejaria evocar a inteligência deste espírito perspicaz. Porque ninguém antes dele e mesmo depois abriu verdadeiramente caminhos novos para o pensamento, para a pesquisa, para a formação prática dos homens do Ocidente. Evidentemente nossa lembrança o considera como o genial inventor dos métodos diretores particulares. Mas também ele domina, ele e só ele, todo o conhecimento empírico de seu tempo (Einstein, 1981, p. 181).

Os princípios estabelecidos por Newton em seus estudos constituem os primeiros passos para o desenvolvimento da ciência moderna, influenciando assim todo o pensamento científico e filosófico do século XVIII. Além de seus interesses na mecânica celeste, na óptica, hidrodinâmica, matemática, consta que também se dedicou à botânica, explicando, por exemplo, em manuscrito da década de 1660, como circulava a seiva das plantas (Ferreira, 2015).

Não obstante toda a racionalidade e o brilhantismo desse grande “filósofo natural” - seus trabalhos testemunham disso – Newton também tinha lá suas idiossincrasias: solitário, casmurro, puritano fanático e irritadiço no limiar da paranoia. Grande parte de sua vida profissional, dedicou-se de corpo e alma à alquimia e a pesquisas religiosas bem extravagantes (Bryson, 2005; Valadares, 2003). Diz-se, inclusive, que dedicou mais tempo à Alquimia do que à Física (Schenberg, 1984; Bernstein, 1973). No que diz respeito aos movimentos dos planetas e dos corpos inanimados na terra, ele acreditava que era imperativo a “mão” de um Criador para dar início aos processos, mas que, depois, Ele o deixava trabalhar de acordo com suas próprias leis (Russell, 1976). A concepção de espaço de Newton também é um tanto estranha, “porque se relaciona profundamente com suas ideias teológicas. O espaço é apresentado como o sensorio de Deus. É como se Deus tivesse órgãos sensoriais, e o espaço fosse exatamente o sensorio de Deus (Schenberg, 1984, p. 30).

### **3.2.2 Movimento de corpos no campo gravitacional terrestre**

Com base nas Leis de Newton apresentadas, pretende-se agora discutir como se dá o movimento de corpos abandonados ou lançados no campo gravitacional terrestre. A análise restringe-se a corpos sólidos, compactos, densos, relativamente pequenos e em movimentos a partir de pequenas alturas comparativamente ao raio terrestre.

#### **3.2.2.1 Galileu e a queda dos corpos**

Galileu Galilei é, sem dúvida alguma, um dos personagens mais fascinantes da história da ciência. Filho de uma nobre família florentina, nasceu em Pisa, ducado de Toscana, Itália,

em 15 de fevereiro de 1564, ano em que faleceu Michelangelo di Lodovico Buonarroti Simoni e nasceu Willian Shakespeare (Ponczek, 2011).

Personagem conhecido dos textos de história da Física por conta de suas contribuições ao desenvolvimento da Mecânica, Galileu dedicou-se por mais de trinta anos à uma luta incessante para fazer triunfar o sistema heliocêntrico de Copérnico. A importância dos seus trabalhos, em particular o “Diálogo sobre os dois principais sistemas do Mundo: Ptolomaico e Copernicano”, bem como as polêmicas nas quais se envolveu, acabaram por constituir-se em um divisor de águas na história da ciência.

**Figura 3.5** – Retrato de Galileu Galilei.



Fonte: JUSTUS SUSTERMANS. **Retrato de Galileu Galilei**. Entre 1636 e 1640. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Justus\\_Sustermans\\_-\\_Portrait\\_of\\_Galileo\\_Galilei,\\_1636.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Justus_Sustermans_-_Portrait_of_Galileo_Galilei,_1636.jpg). Acesso em: 2 dez. 2022.

Seu grande mérito foi o de ter entendido ou pressentido que a chave do método científico estava justamente na transposição da observação para a experimentação. Assim, tem-se o corte epistemológico que tornaria possível o desenvolvimento da ciência moderna, sendo que Galileu pode ser considerado, de certa forma, o responsável por seu nascimento (Lucie, 1977). Para Einstein e Infeld (1966, p. 16): “A descoberta e o uso do raciocínio científico por Galileu foram umas das mais importantes conquistas da história do pensamento humano e marcam o começo real da Física”. Galileu, bem como Giacomino Zabarella, Pietro Poponazzi, Nicolau Copérnico, Willian Harvey, entre outros

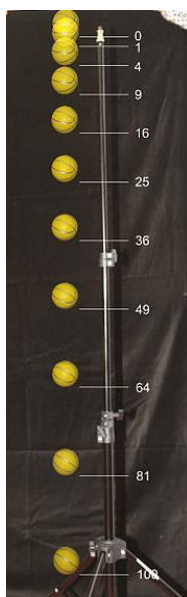
desenvolveram um pensamento e uma atividades voltados para o estudo e a observação da natureza, acompanhado de experimentos e de pesquisa empírica, fundando assim um procedimento que poderíamos já denominar de científico e cujos desdobramentos nos trazem até a época contemporânea (Sevcenko, 1991, p. 19).

Galileu Galilei faleceu em Arcetri, Itália, em 9 de janeiro 1642. Merecidamente, tornou-se também um personagem do teatro moderno, pelas mãos do grande dramaturgo alemão Bertolt Brecht, que o imortalizou na peça “A Vida de Galileu”, escrita entre 1937 e 1938, e depois em 1943 (Lucie, 1977; Zylberstajn, 1988).

Sabe-se que o movimento de queda de um corpo nas proximidades da Terra foi analisado por Galileu Galilei (1564-1642). Segundo seus estudos experimentais, um corpo abandonado nas proximidades da superfície terrestre cai em direção à Terra com uma aceleração quase constante.

A partir de seus estudos, concluiu que os corpos, leves ou pesados, quando em movimento nas proximidades da Terra, em queda livre, ou seja, sem influência significativa da resistência do ar, caem de modo que as distâncias percorridas por eles são proporcionais ao quadrado dos tempos. Em outras palavras, caem com uma aceleração praticamente constante, cujo valor sabido está em torno de  $9,8 \text{ m/s}^2$ , com pequenas diferenças por conta de altitude e longitude do local onde se processa o experimento. Portanto, para o corpo em queda livre tem-se o ilustrado na Figura 3.6 a seguir.

**Figura 3.6** – Bola caindo.





Ao que tudo indica, não é verídica a história que ele teria analisado os movimentos de queda de corpos utilizando objetos de massas bem distintas e abandonados do alto da Torre de Pisa, que então chegavam ao solo em tempos praticamente iguais. Koyré (1991), por exemplo, um matemático, filósofo e historiador da ciência, considera que os afamados experimentos da Torre de Pisa jamais foram feitos por Galileu. No entanto, sabe-se que, para entender o movimento de queda dos corpos, ele realizou inúmeros movimentos de objetos em planos inclinados, descrevendo em detalhe várias formulações para o movimento (Osada, 1972).

Denominando  $\mathbf{g}$  a aceleração de queda de um corpo que se movimenta livremente na direção vertical, nas proximidades da Terra, abandonado ou lançado para cima ou para baixo, seu movimento pode ser modelado matematicamente da seguinte maneira:

$$\vec{a} = \vec{g} \text{ (constante)}$$

$$\vec{g} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\vec{g} \cdot dt = d\vec{v}$$

$$\int_0^t \vec{g} \cdot dt = \int_{\vec{v}_0}^{\vec{v}} d\vec{v}$$

Como o movimento se dá na vertical, ou seja, é unidimensional, pode-se retirar o caráter vetorial da expressão. Assim:

$$\int_0^t \pm g \cdot dt = \int_{v_0}^v dv$$

$$\pm g \cdot t = v - v_0$$

$$v = v_0 \pm g \cdot t \quad (\text{Eq. 3.5})$$

O sinal  $\pm$  foi colocado antes de “g” apenas para indicar que o uso de um ou de outro dependerá da orientação de um eixo vertical ( $y$ ) escolhido para a marcação das posições do corpo em movimento. A expressão evidencia que, sendo a aceleração “g” aproximadamente constante, a velocidade “v” varia linearmente com o tempo “t”, ou seja, a velocidade varia

(aumenta ou diminui) de modo que sua variação é proporcional ao intervalo de tempo considerado. Diz-se então que o movimento do corpo tem sua velocidade variando de maneira uniforme, ou seja, é uniformemente variado.

Como o corpo move-se verticalmente, pode-se estabelecer um eixo vertical ( $y$ ) para marcação das posições em relação a um ponto qualquer na Terra, por exemplo em sua superfície, orientando-o para cima. Assim, a aceleração é escrita como  $a = -g$  e a velocidade, aqui tratada na forma escalar, será dada por:

$$v = \frac{dy}{dt}$$

$$v \cdot dt = dy$$

$$\int_0^t v \cdot dt = \int_{y_0}^y dy$$

$$\int_0^t (v_0 - g \cdot t) \cdot dt = \int_{y_0}^y dy$$

$$v_0 \cdot t - g \cdot \frac{t^2}{2} = y - y_0$$

$$y = y_0 + v_0 \cdot t - g \cdot \frac{t^2}{2} \quad (\text{Eq. 3.6})$$

Observa-se assim que a coordenada de posição ( $y$ ) varia segundo uma função de grau dois no tempo. Esse fato pode ser notado analisando-se cuidadosamente as medidas verticais no movimento de queda mostrado anteriormente na Figura 3.6.

### 3.2.2.2 O movimento de projéteis nas proximidades da Terra

Compreendido o movimento de queda na vertical, a etapa seguinte consiste na análise do movimento de um corpo também em movimento nas proximidades da Terra, sem levar em conta a resistência do ar, porém agora com o corpo lançado horizontalmente ou obliquamente em relação ao plano horizontal do local.

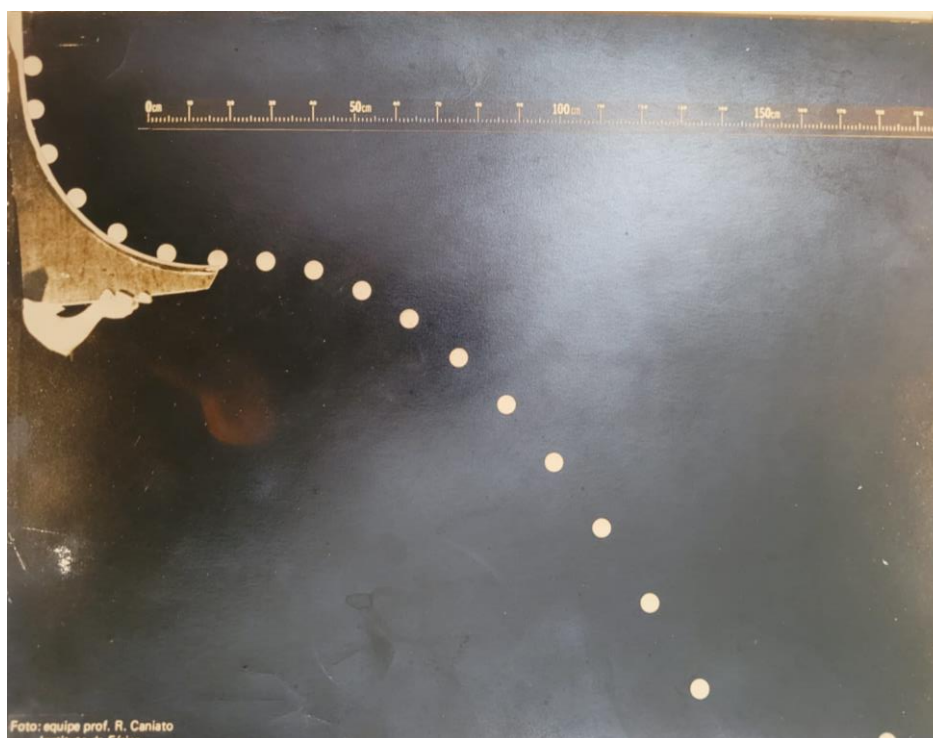
Os primeiros estudos teóricos referentes ao lançamento de projéteis remontam ao século XVI e têm a ver com a atividade militar. O estudo da balística foi gerado pela guerra e

necessidade de defesa (Ponczek, 2011). Em meados do século XVI, Tartaglia, por exemplo, analisou as trajetórias de projéteis, inclusive chegando a estabelecer que o ângulo de  $45^\circ$  é o que permite o maior alcance de um projétil disparado (Hessen, 1985; Ponczek, 2011).

A questão do lançamento de projéteis também fez parte dos estudos de Galileu Galilei, Evangelista Torricelli, Robert Hooke, Isaac Newton, Johann Bernoulli, entre outros (Hessen, 1985; Ferreira, 2001). Galileu, por exemplo, em carta a Paolo Sarpi, em 1604, mencionou seus estudos a respeito da queda dos corpos, e a Antonio de Médici, em fevereiro de 1609, informou sobre sua nova teoria de que os projéteis, quando lançados, descreveriam uma parábola, sendo que a componente horizontal do movimento seria uniforme e a vertical acelerada (ROSA, 2012). Esses estudos de Galileu foram citados em um dos escólios do *Principia* de Newton de 1686 (Newton, 2002, p. 61-62). Hooke, por sua vez, estudou o lançamento de projéteis em *ballestas* (balestras) ou catapultas, procurando calcular as forças aplicadas por esses instrumentos no lançamento de flechas, projéteis, pedras ou outros materiais (Monteiro, 2021).

A Figura 3.7 a seguir, ilustrando o movimento agora sob análise, foi realizada em laboratório de ensino na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Esta e as demais fotos de múltipla exposição aqui colocadas constituem também uma homenagem ao Prof. Dr. Rodolpho Caniato, grande educador brasileiro na área de Física e ex-professor do autor.

**Figura 3.7** – A parábola do movimento do projétil lançado horizontalmente.



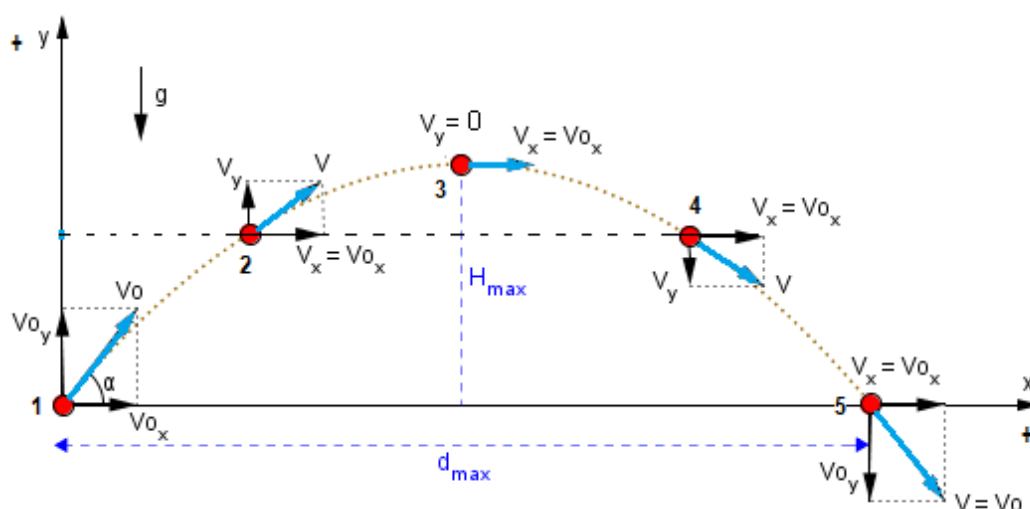
Fonte: Acervo do autor. Caniato, Rodolpho. UNICAMP. década de 1970.

O movimento do projétil pode ser modelado como dois movimentos independentes em duas direções perpendiculares, ou seja, pode-se fazer a decomposição do mesmo em duas direções, horizontal e vertical, utilizando o Princípio da Independência dos Movimentos Simultâneos, de Galileu, ou seja:

no movimento composto, os movimentos componentes guardam aquelas propriedades que teriam quando ocorrem isoladamente, de modo que o movimento composto tem rigorosamente todas as propriedades dos movimentos componentes. Isto significa que, na composição, há uma independência dos efeitos dos movimentos componentes (Galilei, 2011, p. 647).

Considere-se então um corpo lançado obliquamente com velocidade inicial  $V_0$  e ângulo de lançamento  $\alpha$  em relação à horizontal. No local, supõe-se a gravidade  $g$  praticamente constante, tendo em vista que a análise é feita sem resistência do ar. A Figura 3.8 ilustra o fenômeno.

**Figura 3.8** – Objeto lançado obliquamente.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Pode-se observar na Figura 3.8 que, para simplificar a análise do movimento, o mesmo é decomposto em dois movimentos parciais independentes, um na horizontal e outro na vertical. Primeiramente, decompõe-se a velocidade inicial em suas duas componentes no plano xy.

$$V_{0x} = V_0 \cdot \cos \alpha$$

$$V_{0y} = V_0 \cdot \sin \alpha$$

Tendo em vista a ausência de força na direção horizontal, o movimento parcial nessa direção é uniforme, ou seja, a componente de velocidade nessa direção será constante. Assim, pode-se escrever:

$$V_{0x} = V_o \cdot \cos \alpha = \frac{dx}{dt} = \text{constante}$$

$$dx = V_o \cdot \cos \alpha \cdot dt$$

$$\int_0^x dx = \int_0^t V_o \cdot \cos \alpha \cdot dt$$

$$x = V_o \cdot \cos \alpha \cdot t \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Esse fato pode ser verificado na Figura 3.9, na qual, aparentemente, as esferas movem-se em um plano horizontal. Na verdade, a imagem foi obtida com uma câmera que fotografou o movimento das esferas que abandonam uma mesa e caem sob a ação da gravidade. No entanto, a câmera, fotografando de cima do plano da mesa e do piso, registra apenas a componente horizontal do movimento, que é uniforme. Com um pouco de atenção pode-se observar uma linha - a borda da mesa - entre a mão do operador sobre a mesa (na linha do polegar) e o pé do mesmo sobre o piso (está destacada com a seta colocada posteriormente sobre a imagem).

**Figura 3.9** – A componente horizontal do movimento.



Já na direção vertical, a força gravitacional que atua sobre o objeto é constante, de modo que o movimento parcial nessa direção será uniformemente variado, com aceleração constante igual a  $g$ , como observado no item anterior (queda livre dos corpos). Assim:

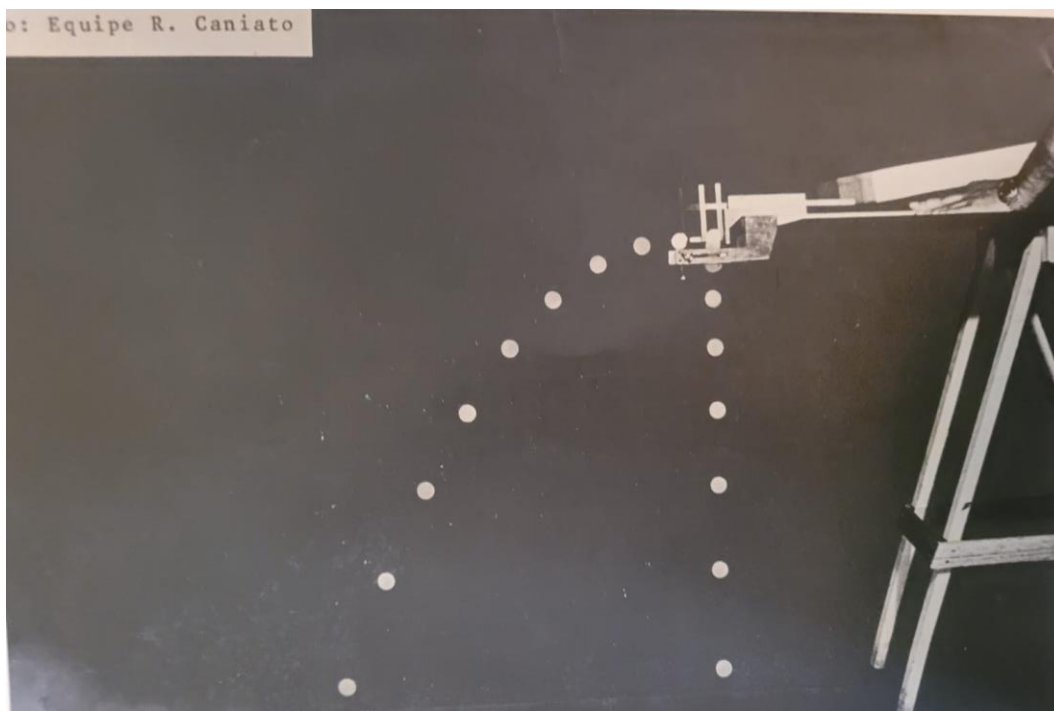
$$v_y = v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t \quad (\text{Eq. 3.8})$$

$$y = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - g \cdot \frac{t^2}{2} \quad (\text{Eq. 3.9})$$

Os sinais (-) nas expressões decorrem do fato de o eixo  $y$  estar orientado para cima, sendo a aceleração  $g$  orientada em sentido contrário.

A independência dos movimentos, conforme Princípio de Galileu, pode ser observada na imagem seguinte. Nela, as duas pequenas esferas foram soltas simultaneamente, uma lançada horizontalmente e outra apenas abandonada, portanto sem velocidade inicial. Deve-se observar que o movimento de queda da esfera que foi abandonada é o mesmo da componente vertical da outra esfera, aquela que foi lançada horizontalmente (basta imaginar linhas horizontais que ligam uma à outra no mesmo instante). A Figura 3.10 ilustra o fenômeno.

**Figura 3.10** – Queda livre e lançamento horizontal.



Fonte: Acervo do autor. Caniato, Rodolpho. UNICAMP. década de 1970.

Agora, isolando-se  $t$  na equação 3.7 com  $x = f(t)$ , tem-se o seguinte:

$$t = \frac{x}{V_0 \cdot \cos \alpha} \quad (\text{Eq. 3.10})$$

Substituindo  $t$  na equação 3.9 com  $y = f(t)$  obtém-se então:

$$y = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot \left( \frac{x}{V_0 \cdot \cos \alpha} \right) - g \cdot \frac{\left( \frac{x}{V_0 \cdot \cos \alpha} \right)^2}{2}$$

$$y = \tan \alpha \cdot x - g \cdot \frac{x^2}{2 \cdot V_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \quad (\text{Eq. 3.11})$$

A expressão acima é a equação da trajetória do projétil no plano  $xy$ . Como  $y = f(x)$  é um polinômio de segundo grau, com coeficiente negativo do termo em  $x^2$ , deduz-se que a trajetória do projétil é uma parábola com concavidade para baixo, conforme já evidenciavam as figuras 3.7, 3.8 e 3.10.

Dessas duas equações deduzidas 3.7 e 3.9 (em  $x$  e em  $y$ ), pode-se obter facilmente uma expressão para a altura máxima atingida pelo projétil, bem como para o alcance horizontal do mesmo. São elas:

$$H_{max} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g} \quad (\text{Eq. 3.12})$$

$$d_{max} = \frac{V_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} \quad (\text{Eq. 3.13})$$

Das expressões acima, pode-se concluir ainda que o ângulo  $\alpha = 90^\circ$  é o que provocaria a máxima altura na vertical para uma determinada velocidade inicial  $V_0$ . Já para o alcance máximo na horizontal, para uma determinada velocidade inicial  $V_0$ , o ângulo seria  $\alpha = 45^\circ$ .

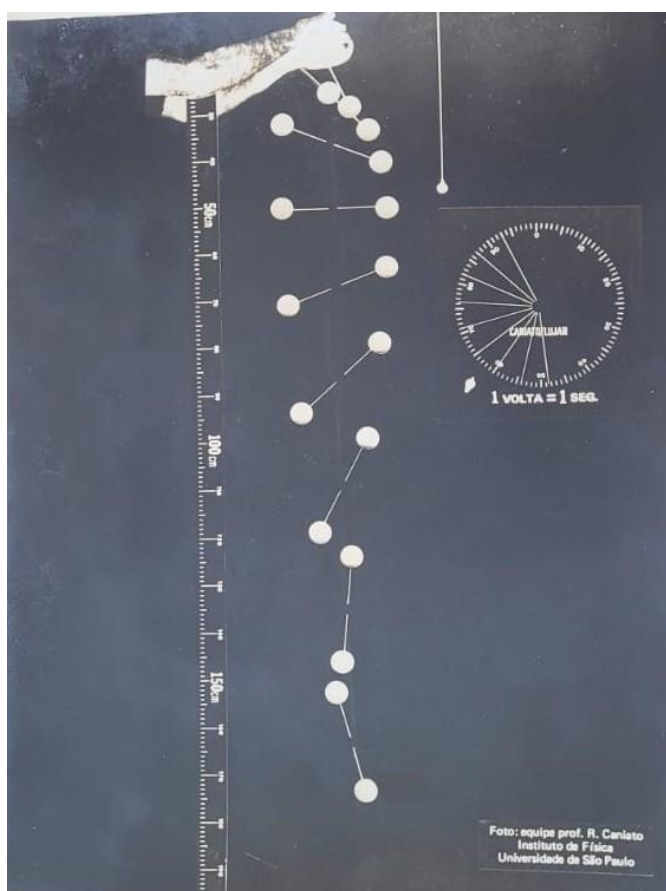
Além disso, levando em conta a trajetória parabólica, também pode-se determinar que no ponto mais alto da parábola, ou seja, quando “ $y$ ” assume seu valor máximo, a componente vertical da velocidade é nula ( $V_y = 0$ ), pois é o momento em que há inversão no sentido de movimento.

Interessante também é refletir sobre o movimento de um corpo extenso lançado obliquamente. Nesse caso, o centro de massa (CM) do corpo, ou seja, o local onde pode-se

imaginar toda a massa do corpo ali concentrada e como se todas as forças externas estivessem nele aplicadas, é que descreverá a trajetória parabólica (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Na imagem da Figura 3.11, a título de exemplo, o corpo extenso abandonado em queda livre é um pequeno haltere formado com uma haste metálica e duas esferas de massas iguais. Assim, o CM do sistema está localizado bem no meio da haste (o ponto escuro). Deve-se observar que é o CM que descreve uma trajetória retilínea em movimento com aceleração aproximadamente constante e igual à gravidade local.

**Figura 3.11** – Haltere em queda livre.



Fonte: Acervo do autor. Caniato, Rodolfo. USP. década de 1970.

Agora, na imagem da Figura 3.12, o corpo extenso lançado é uma pequena estrela formada com três hastes metálicas iguais, sendo que na extremidade de cada uma há uma plaquinha com uma letra. As três letras compõem a palavra USP, universidade onde o experimento foi realizado. Assim, o CM do sistema está localizado bem no centro da estrela.

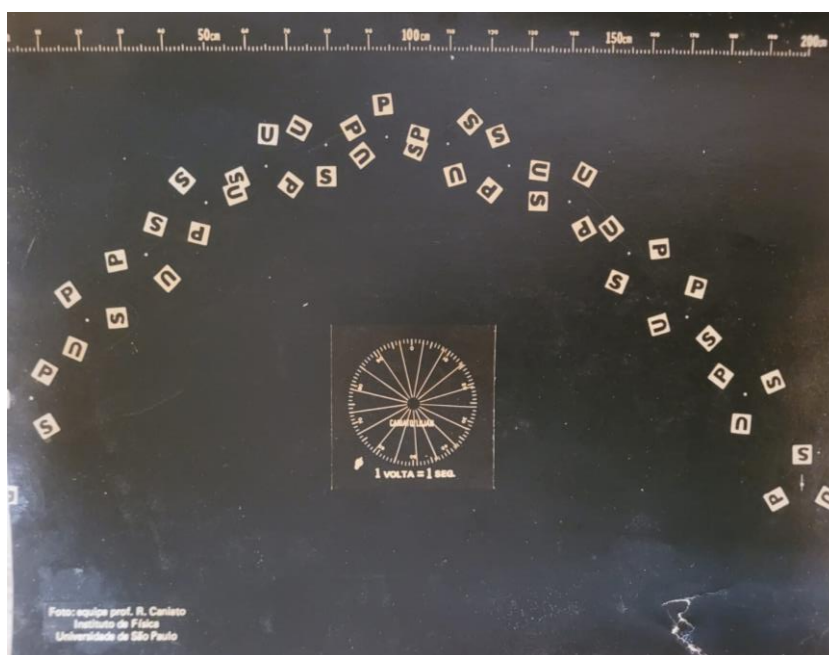
Tentando acompanhar, individualmente, cada uma das trajetórias das três letras das placas, observam-se curvas que, diga-se assim, não aparentam nenhuma regularidade, ou seja,



são de difícil equacionamento e não correspondem às curvas mais simples, tais como: circunferência, parábola, elipse, hipérbole etc.

No entanto, se observarmos a trajetória do CM (o pontinho destacado em branco), pode-se observar que o mesmo descreve uma trajetória parabólica, como é o caso de um pequeno corpo compacto lançado nas proximidades da Terra e que se move sob a ação da gravidade local, conforme descrito anteriormente.

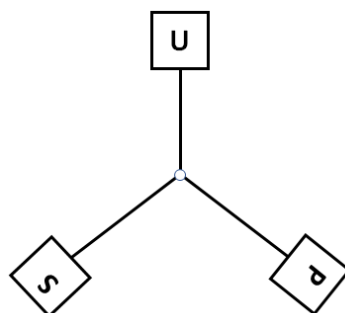
**Figura 3.12** – Corpo extenso lançado obliquamente.



Fonte: Acervo do autor. Caniato, Rodolfo. USP. década de 1970.

Na foto da Figura 3.12, as hastes estão propositalmente pintadas de preto, para não aparecerem. O centro de massa, por simetria, está localizado no centro da estrela, na junção das três hastes (o pontinho branco na foto), conforme Figura 3.13.

**Figura 3.13** – A “estrela” lançada obliquamente.



Fonte: elaborada pelo autor.

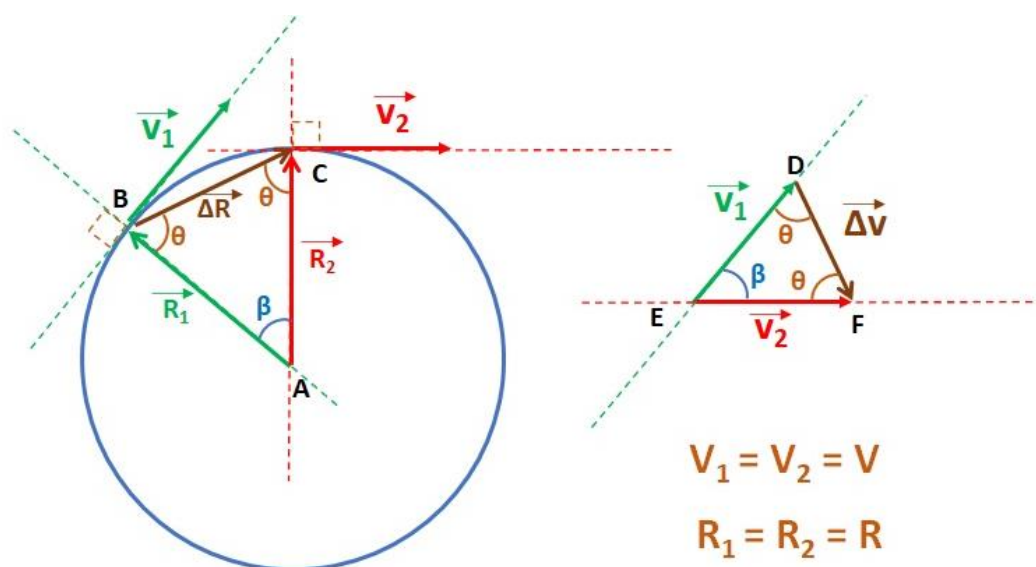
### 3.2.3 Movimento Circular Uniforme

Movimentos em trajetórias circulares têm sido analisados desde a Grécia antiga, quando dos estudos sobre os movimentos dos astros. A mística da perfeição e o espírito geométrico deram origem ao movimento circular uniforme, o movimento considerado perfeito, sempre idêntico a si mesmo, imutável e eterno. À época, os modelos propostos para o sistema planetário, em particular o de Ptolomeu, consideravam os planetas então conhecidos descrevendo órbitas circulares, ou uma combinação delas, em torno na Terra, ou seja, o modelo geocêntrico (Lucie, 1977). Esse modelo perdurou por mais de dois mil anos, até que Nicolau Copérnico propôs um novo modelo para o sistema, agora com os planetas orbitando em torno do Sol, o modelo heliocêntrico (Ponczek, 2011). No entanto, em um primeiro momento, as órbitas circulares são mantidas, sendo posteriormente alteradas para trajetórias elípticas, quando Johannes Kepler estabeleceu as três leis que na história ficaram consagradas com seu nome.

Assim, esse tópico propõe a análise de um movimento circular, porém um muito particular, o dos gregos, ou seja, o movimento uniforme, de velocidade vetorial constante em módulo. É um movimento cotidianamente presente: ventilador, motores, rodas etc.

Para tanto, considere uma partícula que descreve um movimento circular em torno de um centro A, com velocidade de módulo constante, ou seja, um movimento circular e uniforme. A Figura 3.14 ilustra o movimento.

**Figura 3.14** – O movimento circular e uniforme.



Sabe-se que a velocidade da partícula em cada ponto da circunferência é tangente à curva, portanto perpendicular ao raio  $R$ . Assim,  $\mathbf{V}_1 \perp \mathbf{R}_1$  e  $\mathbf{V}_2 \perp \mathbf{R}_2$ . O vetor  $\Delta \mathbf{R}$  representa o deslocamento vetorial da partícula no intervalo, bem como  $\Delta \mathbf{V}$  representa a variação da velocidade vetorial no mesmo intervalo de tempo.

Como os ângulos  $\widehat{BAC}$  e  $\widehat{DEF}$  são agudos e – como citado - têm os lados perpendiculares,  $\mathbf{V}_1 \perp \mathbf{R}_1$  e  $\mathbf{V}_2 \perp \mathbf{R}_2$ , pode-se concluir que os mesmos são congruentes. Observa-se ainda que os dois triângulos são isósceles, de modo que os dois ângulos da base ( $\theta$ ) têm a mesma medida. Dessa forma, os dois triângulos  $BAC$  e  $DEF$  são semelhantes. Sendo assim, pode-se escrever para eles a seguinte relação de semelhança:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta R}{R}$$

Dividindo-se ambos os membros por  $\Delta t$ , tem-se:

$$\frac{\Delta v}{v \cdot \Delta t} = \frac{\Delta R}{R \cdot \Delta t}$$

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v \cdot \Delta R}{R \cdot \Delta t}$$

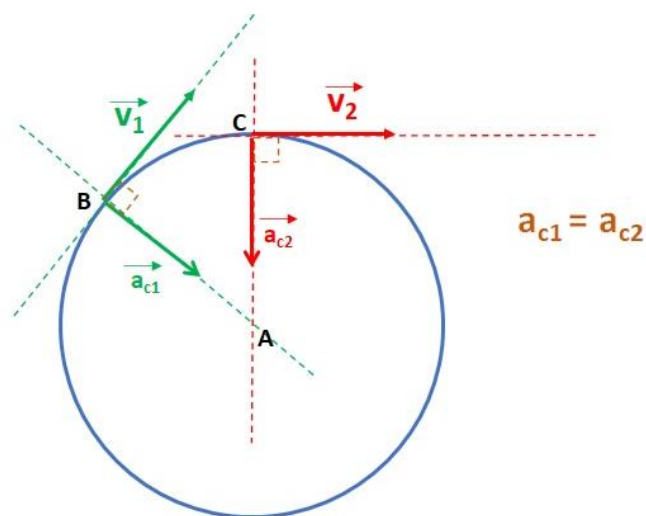
$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v \cdot \Delta R}{R \cdot \Delta t}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{R} \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta R}{\Delta t}$$

$$a = \frac{v}{R} \cdot v = \frac{v^2}{R}$$

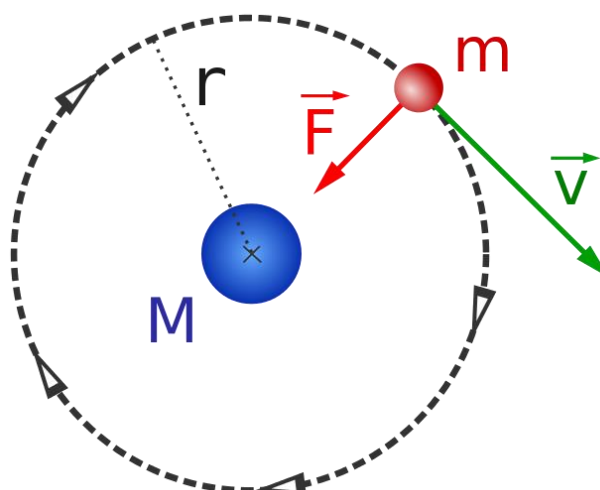
Observa-se que, no limite, quando  $\Delta t \rightarrow 0$ , o ângulo  $\beta \rightarrow 0$  e  $\theta \rightarrow 90^\circ$ . Assim,  $\Delta \mathbf{V}$  e, portanto, a aceleração  $\mathbf{a}$  tendem a ficar perpendiculares ao vetor velocidade  $\mathbf{V}$ , ou seja, apontando continuamente para o centro da curva (Figura 3.15), daí ser essa aceleração obtida a componente denominada aceleração centrípeta (para o centro). No caso, como o módulo do vetor  $\mathbf{V}$  não varia, a outra componente de aceleração – a tangencial - é nula. Escreve-se então:

$$a_c = \frac{v^2}{R} \quad (\text{Eq. 3.14})$$

**Figura 3.15** – A aceleração centrípeta e a velocidade no movimento circular e uniforme.

Fonte: elaborada pelo autor.

Pela Segunda Lei de Newton, se há uma aceleração dirigida para o centro da curva, também para o centro está dirigida a resultante das forças que agem sobre a partícula, portanto a resultante que também é denominada centrípeta. Por exemplo, a Figura 3.16 a seguir ilustra a força de atração sobre um satélite em órbita em torno da Terra. Nesse caso, seria ela a resultante centrípeta responsável pela alteração direcional da velocidade e pela manutenção do satélite em sua órbita.

**Figura 3.16** – Força centrípeta e a velocidade em um satélite em órbita.

Fonte: JFMELERO. **A gravidade fornece a força centrípeta necessária para o movimento do satélite.** 2013. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SatelliteCentripetalForce.svg>. Acesso em: 2 dez. 2022.

## 3.2.4 Considerações sobre Energia

### 3.2.4.1 Trabalho e Energia

Trabalho e energia são dois conceitos muito importantes e considerados fundamentais no estudo dos fenômenos físicos. Já no período medieval alguns estudiosos dos fenômenos mecânicos imaginavam a existência de uma quantidade relacionada aos movimentos que era conservada. Leibniz, por exemplo, considerava uma grandeza que denominou força viva ou *vis viva* (em latim) – determinada por  $m.v^2$ , que seria conservada (Vieira, 2020)

### 3.2.4.2 Energia

Energia é uma grandeza física de difícil definição tendo em vista manifestar-se na natureza nas mais variadas formas, tais como: cinética, potencial gravitacional, potencial elástica, elétrica, térmica, sonora, luminosa, nuclear etc. Dessa maneira, é muito difícil estabelecer uma definição que abarque satisfatoriamente todas as formas de energia ou todas as maneiras sob as quais a energia se manifesta nos mais variados contextos.

Pode-se dizer que, direta ou indiretamente, a energia está relacionada com o movimento ou com a possibilidade de ocorrência de movimento. Alguns exemplos ilustram esse fato: sonora - movimento de partícula em meio elástico; térmica - agitação molecular; elétrica - movimento de partículas carregadas eletricamente etc.

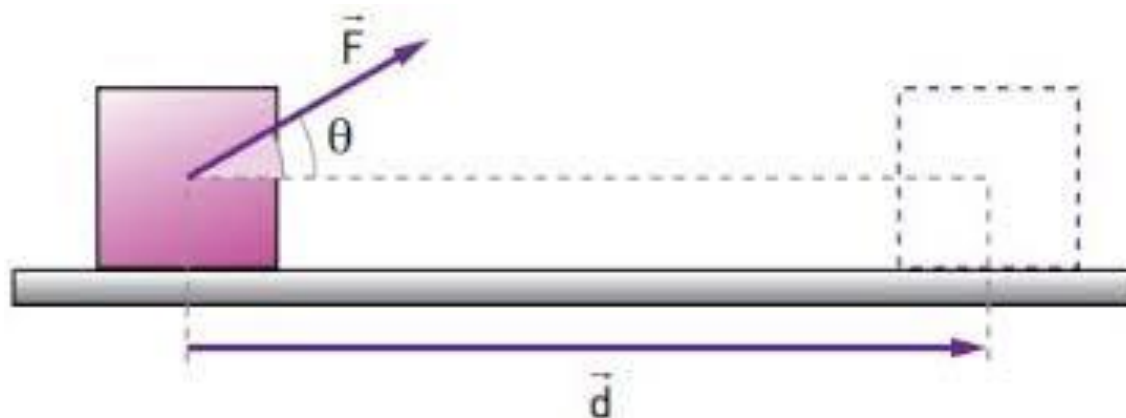
Nos mais variados processos observados na natureza, a energia é, em geral, convertida de uma modalidade em outra ou transferida de um sistema para outro. Pelas análises desses inúmeros processos pode-se adotar como princípio que a energia, transferida ou transformada, é conservada de alguma forma em qualquer processo, ou seja, nunca é criada ou destruída.

Em geral, a energia transferida e/ou transformada em um processo é medida pelo trabalho realizado - quando há intervenção de força - ou pelo calor trocado - quando há diferença entre as temperaturas dos corpos ou sistemas envolvidos.

### 3.2.4.3 Trabalho de força constante

Quando uma força atua sobre uma partícula e nela provoca um deslocamento, diz-se que a força realiza um trabalho ( $W$ ). A conceituação de trabalho é bem ampla, mas, para iniciar a discussão, considera-se primeiramente o caso de uma força constante em deslocamento retilíneo, conforme Figura 3.17.

Figura 3.17 – Força e deslocamento.



Fonte: elaborada pelo autor.

Nesse caso, define-se trabalho da força como sendo uma grandeza escalar que pode ser calculada da seguinte forma:

$$W_F = F \cdot d \cdot \cos \theta \quad (\text{Eq. 3.15})$$

Deve-se observar que, tratando os elementos vetorialmente, esse cálculo pode ser escrito por meio de um produto escalar entre os dois vetores  $\mathbf{F}$  e  $\mathbf{d}$ . Assim:

$$W_F = \vec{F} \cdot \vec{d} \quad (\text{Eq. 3.16})$$

Outra maneira de pensar é que o trabalho da força pode ser obtido pelo produto da projeção da força na direção do deslocamento ( $F_x = F \cdot \cos \theta$ ) pelo próprio valor do deslocamento.

Observa-se ainda que, no Sistema Internacional (SI), a grandeza trabalho tem por unidade:

$$[W_F] = N \cdot m = kg \cdot \frac{m^2}{s^2} = \text{joule} = J$$

Pela definição, também pode-se notar que o trabalho da força pode ser positivo, negativo ou nulo, dependendo da direção segundo a qual a força atua em relação à direção do deslocamento. Dessa maneira, tem-se o seguinte:

$$0 \leq \theta < 90 \rightarrow W > 0 \text{ (trabalho motor)}$$

$$90 < \theta \leq 180 \rightarrow W < 0 \text{ (trabalho resistente)}$$

$$\theta = 0 \rightarrow W = 0 \text{ (trabalho nulo)}$$

Como já definido, fisicamente o trabalho realizado por uma força corresponde à medida da quantidade de energia transferida ou transformada no processo pela ação da força aplicada.

Quando há mais de uma força constante atuando sobre o corpo, o trabalho total realizado pelo conjunto das forças aplicadas pode ser calculado pela soma dos trabalhos parciais das forças atuantes ou, ainda, pelo trabalho realizado pela força resultante  $\mathbf{R}$ , ou seja:

$$W_R = R \cdot d \cdot \cos \theta = W_{F_1} + W_{F_2} + W_{F_3} + \dots + W_{F_n}$$

Sendo que:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n$$

#### 3.2.4.4 Trabalho de força variável

No caso de a força ser variável, ainda considerando deslocamento retilíneo, na direção  $x$  por exemplo, pode-se imaginar o deslocamento total dividido em pequenos intervalos, de modo que neles a intensidade da componente da força na direção do movimento possa ser considerada aproximadamente constante, conforme Figura 3.18.

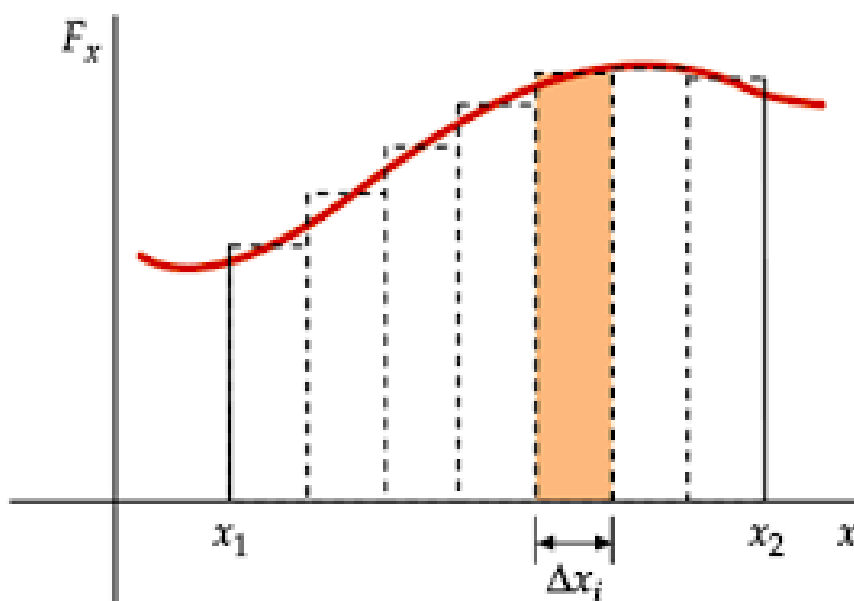
Assim, em cada um desses pequenos intervalos, os trabalhos parciais realizados pela força podem ser calculados utilizando a definição original para trabalho de força constante. Em seguida, para calcular o trabalho total realizado no intervalo somam-se todos os trabalhos elementares realizados nesses pequenos deslocamentos.

Pode-se então escrever:

$$W_F = F_{x1} \cdot \Delta x_1 + F_{x2} \cdot \Delta x_2 + F_{x3} \cdot \Delta x_3 + \dots + F_{xn} \cdot \Delta x_n$$

$$W_F = \sum_1^n F_x \cdot \Delta x$$

Figura 3.18 – Trabalho de força variável.



Fonte: elaborada pelo autor.

Fazendo a amplitude do deslocamento tender a zero, o número de termos na soma aumenta, tendendo a infinito, mas o valor da soma tende à área delimitada sob a curva da Figura 3.17. Assim, o trabalho pode ser calculado pela seguinte integral:

$$W_F = \int_{x_1}^{x_2} F_x \cdot dx \quad (\text{Eq. 3.17})$$

Facilmente pode-se generalizar a expressão para o caso de a partícula estar se movendo no espaço tridimensional utilizando o produto escalar.

$$W_F = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{r} \quad (\text{Eq. 3.18})$$

Sendo:

$$d\vec{r} = dx\vec{i} + dy\vec{j} + dz\vec{k}$$

#### 3.2.4.5 Energia cinética

Considere-se agora o caso de um conjunto de forças atuando sobre uma partícula. O trabalho realizado pela resultante do sistema de forças, calculado pela equação 3.18, será:



$$W_R = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

$$W_R = \int_1^2 m \cdot \vec{a} \cdot d\vec{r}$$

$$W_R = \int_1^2 m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{r}$$

$$W_R = \int_1^2 m \cdot \frac{d\vec{r}}{dt} \cdot d\vec{v}$$

$$W_R = \int_1^2 m \cdot \vec{v} \cdot d\vec{v}$$

$$W_R = m \cdot \left( \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right)$$

$$W_R = \frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2} \quad (\text{Eq. 3.19})$$

Deve-se observar que os dois termos do segundo membro são de mesma natureza, ora calculado no início, ora calculado no final do processo. Assim, a diferença entre eles corresponde à variação de uma grandeza associada ao sistema em questão. Coerente com o conceito de trabalho apresentado anteriormente, ou seja, trabalho como sendo a medida da quantidade de energia transferida ou transformada no processo, diz-se então que esse termo presente no segundo membro corresponde à medida da energia associada ao movimento do corpo ou sua energia cinética. Escreve-se então:

$$E_C = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (\text{Eq. 3.20})$$

Assim, a expressão – conhecida como Teorema Trabalho-Energia ou Teorema da Energia Cinética - pode ser reescrita como:

$$W_R = \Delta E_C \quad (\text{Eq. 3.21})$$

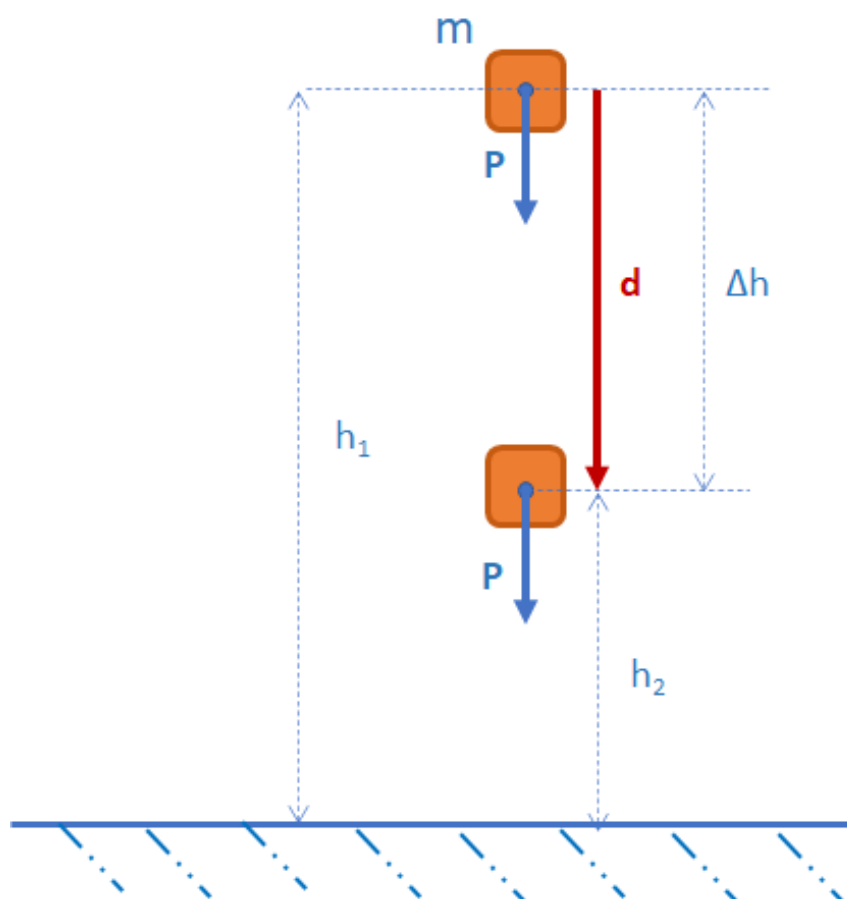
Note que, em termos dimensionais, a energia cinética e o trabalho são grandezas de mesma natureza, ou seja, fisicamente homogêneas, tendo então a mesma unidade de medida.

$$[W] = [E_C] = \text{joule} = J$$

### 3.2.4.6 Energia potencial gravitacional

Utilizando o resultado obtido, pode-se imaginar agora um corpo em queda livre nas proximidades da Terra (Figura 3.19). Nesse caso, será que há alguma particularidade sobre o trabalho realizado pela força peso que mereça atenção especial?

**Figura 3.19** – Trabalho da força peso e corpo em queda na vertical.



Fonte: elaborada pelo autor.

O trabalho realizado pela força peso durante a queda do corpo pode ser calculado pela equação 3.18:

$$W_P = \vec{P} \cdot \vec{d}$$

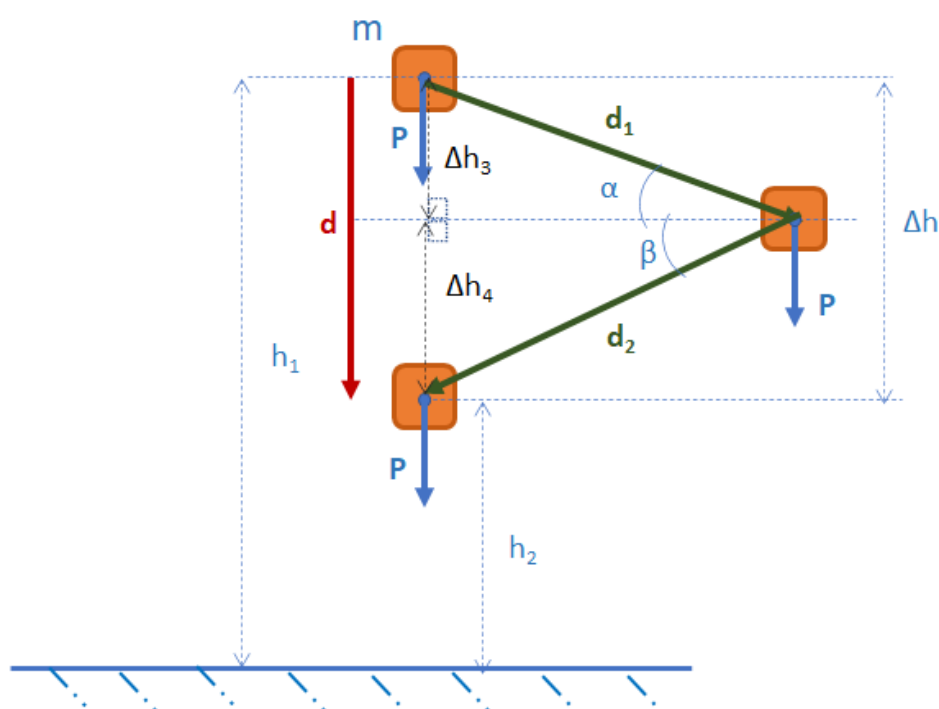
$$W_P = P \cdot d \cdot \cos \theta = m \cdot g \cdot d \cdot 1 = m \cdot g \cdot \Delta h$$

$$W_P = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$$

$$W_P = m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2$$

Para simplificar a discussão, o cálculo foi realizado considerando o corpo em queda livre, em linha reta. No entanto, é possível mostrar que o trabalho realizado pela força peso seria o mesmo qualquer que fosse a trajetória descrita pelo corpo entre os pontos 1 e 2. Por exemplo, se o deslocamento tem componente em x e também em y, conforme Figura 3.20, tem-se que:

**Figura 3.20** – Trabalho da força peso e trajetória em dois segmentos.



Fonte: elaborada pelo autor.

Considerando o eixo y orientado verticalmente para cima e o eixo x orientado horizontalmente para a direita, tem-se então:

$$W_P = \vec{P} \cdot \vec{d}_1 + \vec{P} \cdot \vec{d}_2$$

$$W_P = P\vec{j} \cdot (d_1 \cdot \cos \alpha \cdot \vec{i} + d_1 \cdot \sin \alpha \cdot \vec{j}) + \vec{P} \cdot (d_2 \cdot \cos \beta \cdot \vec{i} + d_2 \cdot \sin \beta \cdot \vec{j})$$

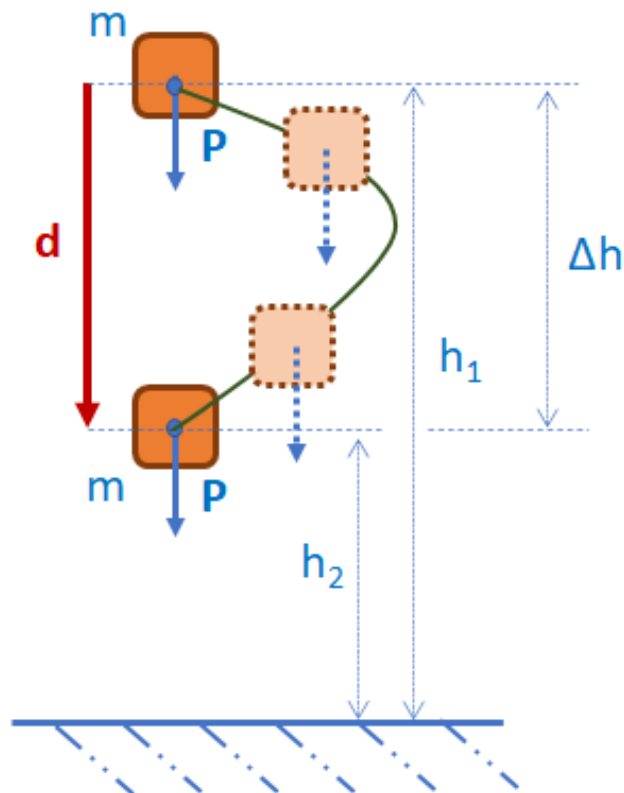
$$W_P = P \cdot \Delta h_3 + P \cdot \Delta h_4$$

$$W_P = P \cdot \Delta h$$

$$W_P = m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 \quad (\text{Eq. 3.22})$$

Agora, se o deslocamento do corpo fosse segundo uma trajetória qualquer entre os mesmos dois pontos, conforme Figura 3.21, facilmente pode-se perceber que, dividindo-se a trajetória em pequenos segmentos retilíneos, conforme Figura 3.20, a soma das projeções dos mesmos na direção vertical seria igual a  $\Delta h$ .

**Figura 3.21** – Trabalho da força peso e trajetória qualquer.



Fonte: elaborada pelo autor.

Conclui-se então que:

$$W_P = P \cdot \Delta h$$

$$W_P = m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2$$

Assim, concluiu-se que o trabalho da força peso independe da trajetória, dependendo somente das posições inicial e final. Forças que têm essa propriedade, ou seja, cujos trabalhos independem da trajetória são então denominadas forças conservativas. Logo a seguir ficará mais claro o porquê do uso dessa terminologia.

Analogamente ao caso anterior, deve-se observar que os dois termos do segundo membro são de mesma natureza, calculados ora no início, ora no final do processo. Assim, a diferença entre eles corresponde à variação de uma grandeza associada ao sistema em questão.

Dessa maneira, sendo coerente com o conceito de trabalho apresentado anteriormente, ou seja, como sendo uma medida da quantidade de energia transferida ou transformada no processo, dizemos então que esse termo é uma medida da energia potencial gravitacional (de posição ou de configuração) associada ao sistema.

$$E_{pgrav} = m \cdot g \cdot h \quad (\text{Eq. 3.23})$$

Deve-se observar que a medida da grandeza está associada a um nível ou posição de referência para medida de  $h$ .

Assim, a expressão – conhecida como Teorema da Energia Potencial - pode ser escrita como:

$$W_P = -\Delta E_{pgrav} \quad (\text{Eq. 3.24})$$

Mais uma vez, note-se que, em termos dimensionais, a energia potencial gravitacional e o trabalho são grandezas fisicamente homogêneas, ou seja, têm a mesma unidade de medida. Então:

$$[W] = [E_C] = [E_p] = \text{joule} = J$$

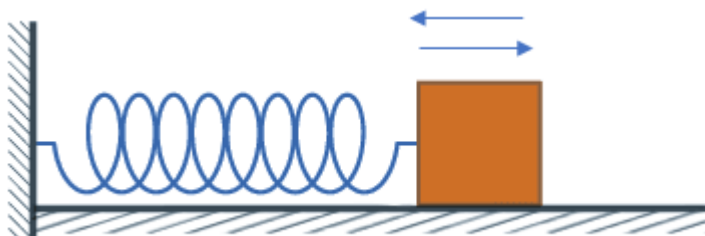
#### 3.2.4.7 Energia potencial elástica

Um sistema mecânico também relativamente importante, tendo em vista servir de modelo para outras situações físicas fundamentais, inclusive de natureza elétrica, é o denominado oscilador harmônico.

Basicamente, o sistema é constituído por uma partícula de massa “ $m$ ” que está presa à extremidade de um corpo elástico, uma mola helicoidal, cuja outra extremidade está fixa em

um elemento rígido, uma parede, por exemplo, conforme Figura 3.22. Se o plano for relativamente liso e não houver resistências, do ar por exemplo, o corpo oscilará, realizando um movimento de vai e vem, que é denominado movimento harmônico simples (MHS).

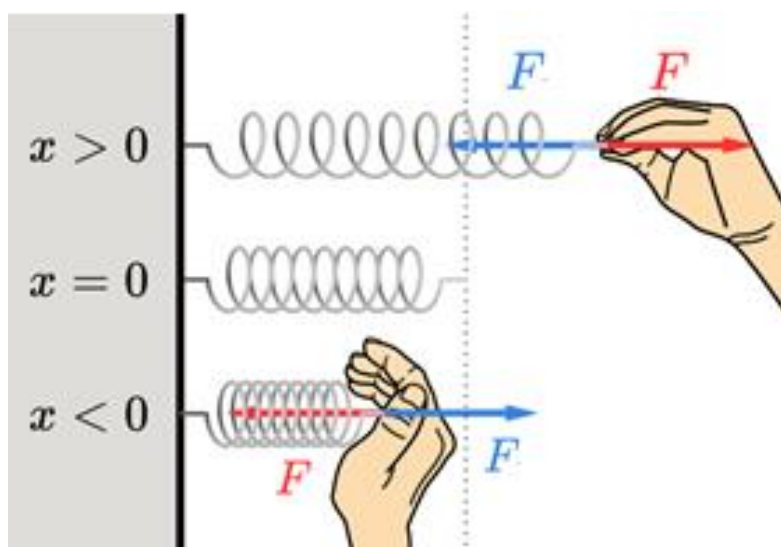
Figura 3.22 – Exemplo de oscilador harmônico.



Fonte: Ivan Airola. **This is an easy case of harmonic oscillator (without gravitational force)**. 2016. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Easy\\_harmonic\\_oscillator.gif](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Easy_harmonic_oscillator.gif). Acesso em: 12 jun. 2023.

Quando a mola é submetida à ação de uma força, de tração ou de compressão, esta provoca uma deformação “ $x$ ” no sistema elástico (Figura 3.23). Por outro lado, o corpo elástico, ou seja, a mola helicoidal, também exercerá uma força  $F$  sobre o agente que exerce a força, tentando restabelecer a posição original de equilíbrio, na qual a mola estaria sem deformação.

Figura 3.23 – Lei de Hooke.



Fonte: MikeRun. **Spring elongation and force**. 2022. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spring-elongation-and-forces.svg>. Acesso em: 12 jun. 2023.

Pode-se observar experimentalmente que, dentro do limite de elasticidade da mola, há uma relação de proporcionalidade entre a intensidade da força e a deformação provocada.

$$F = -k \cdot x \quad (\text{Eq. 3.25})$$

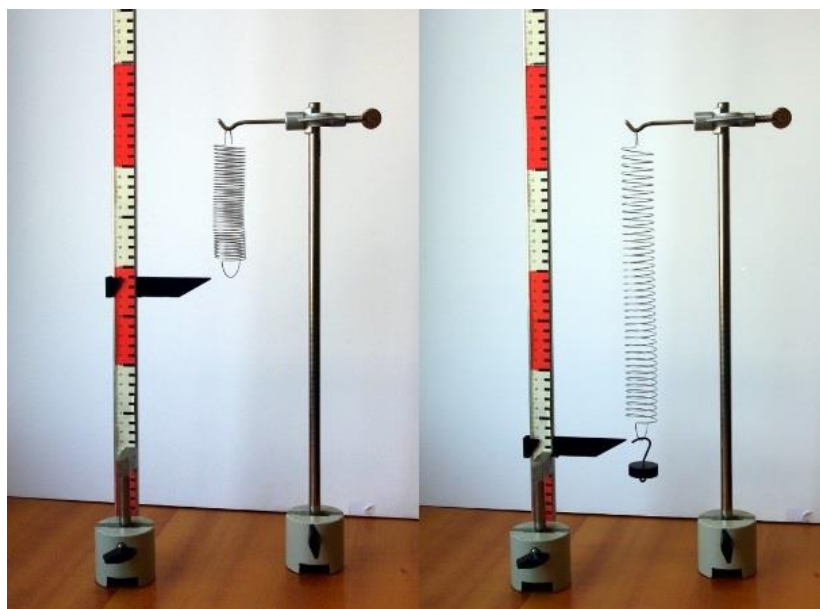
A expressão é comumente conhecida como Lei de Hooke, pois foi enunciada primeiramente, em 1678, pelo físico Robert Hooke (Nussenzveig, 2013).

O sinal (-) presente na equação é um indicativo de que a força e a deformação apresentam-se em sentidos opostos, ou seja, no caso da Figura 3.22, a força elástica tende a opor-se ao deslocamento do corpo, tentando trazê-lo de volta à posição de equilíbrio. Por isso, usa-se para a força a denominação de força restauradora.

A constante “k” da equação é denominada constante elástica da mola, que é um atributo da mesma, ou seja, um indicativo do quão rígida ou flexível é a mola. Assim, um “k” maior está associado a uma mola mais rígida, de mais difícil deformação; um “k” menor, uma mola mais flexível, ou seja, que se deforma mais facilmente, com menor força aplicada.

Essa constante depende da espessura do fio constituinte da mola, do diâmetro da espira, do número de espiras e também do material envolvido na construção da mola. No SI a unidade de medida de “k” é o N/m. Sua determinação pode ser feita de maneira relativamente simples, com uso da montagem mostrada na Figura 3.24 a seguir, na qual pode-se medir a deformação provocada por uma massa conhecida.

**Figura 3.24** – Determinação da constante k da mola.



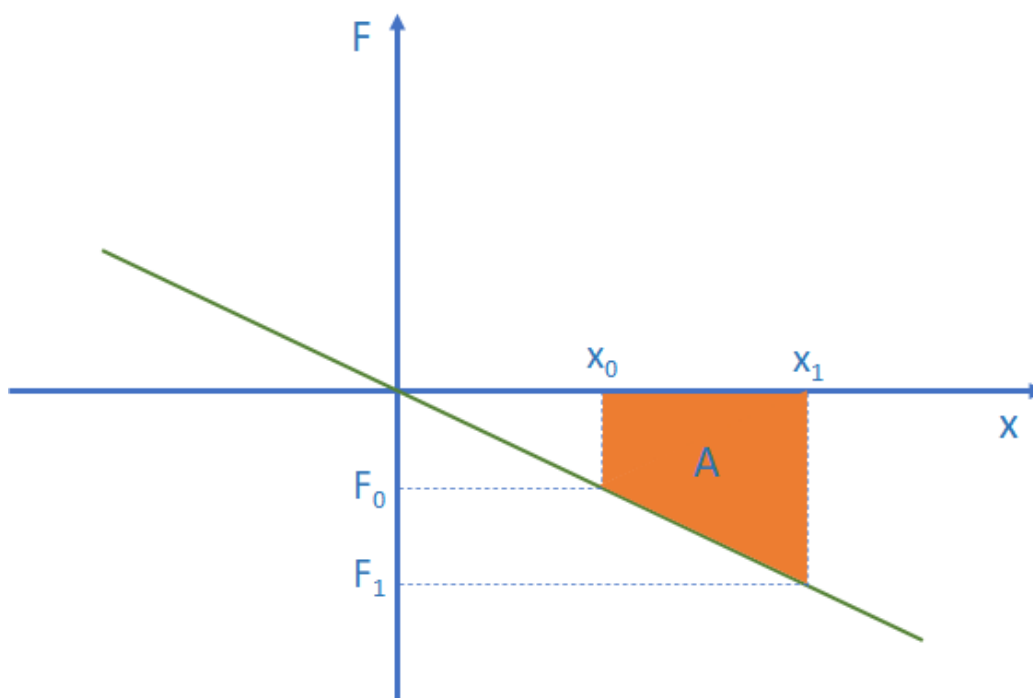
Fonte: Thepalerider2012. **Hook2**. 2013. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hook2.jpg>. Acesso em: 12 jun. 2023.

Evidentemente, quando há deformação da mola, a força restauradora realiza um trabalho, tendo em vista ter seu ponto de aplicação deslocado. Para simplificar a discussão,

para o cálculo do trabalho, serão utilizadas as considerações feitas com a Figura 3.18 e parágrafos seguintes. Assim, construindo um gráfico de  $F$  como função de  $x$ , sempre dentro do limite de elasticidade da mola, obtém-se algo como a Figura 3.25, a seguir.

Na Figura 3.25, como visto anteriormente, o trabalho realizado pela força é dado pela área sob a curva, ou seja, por:

**Figura 3.25** – Trabalho da força elástica.



Fonte: elaborada pelo autor.

$$W_{1 \rightarrow 2} = \text{área sob a curva}$$

$$W_{1 \rightarrow 2} = -\frac{1}{2}(x_1 - x_0)(k \cdot x_1 + k \cdot x_0)$$

$$W_{1 \rightarrow 2} = -\frac{1}{2}(k \cdot x_1^2 - k \cdot x_0^2)$$

$$W_{1 \rightarrow 2} = -\frac{k}{2}(x_1^2 - x_0^2) \quad (\text{Eq. 3.26})$$

Deve-se observar que o trabalho realizado depende apenas das posições inicial e final da mola. Conforme já discutido anteriormente, as forças que têm essa propriedade, ou seja, cujos trabalhos independem da trajetória e somente das posições final e inicial são então denominadas forças conservativas.



Sendo então conservativa, à força elástica associa-se também uma energia de posição ou de configuração. Coerente com a definição adotada para trabalho, qual seja, como sendo a medida da energia transferida ou transformada pela ação da força, pode-se dizer que o segundo membro da equação representa a energia potencial elástica associada ao sistema. Assim:

$$E_{pel} = \frac{1}{2}k \cdot x^2 \quad (\text{Eq. 3.27})$$

Ou também, utilizando a Lei de Hooke, de forma equivalente:

$$E_{pel} = \frac{1}{2}F \cdot x$$

Assim como foi discutido para a força peso, tem-se o seguinte:

$$W_{Fel} = -\Delta E_{pel} \quad (\text{Eq. 3.28})$$

Interessante também é pensar no caso das molas que ficam submetidas a torções quando utilizadas, tais como ocorre naquelas presentes em prendedores de roupas para varal ou em carrinhos de brinquedo de fricção (Figura 3.26).

**Figura 3.26** – Mola de torção em prendedor de roupa.



Nesse caso, o armazenamento da energia potencial elástica se dá pela torção da mola e não por compressão ou tração. Essa situação não será aqui detalhada, pois fugiria um pouco do escopo da discussão. Apenas será considerada que a expressão para o cálculo da energia potencial elástica é análoga àquela dos casos de tração ou compressão:

$$E_{pel} = \frac{1}{2} \tau \cdot \theta \quad (\text{Eq. 3.29})$$

Agora,  $\tau$  representa o torque<sup>1</sup> aplicado à mola para torção e  $\theta$  o ângulo de torção correspondente.

#### 3.2.4.8 Conservação da energia mecânica

Agora, voltando ao caso do corpo em queda livre, como a força peso é também a resultante sobre o corpo em queda, propõe-se a junção das duas expressões sobre o trabalho – 3.21 3 3.24 - obtidas anteriormente. Tem-se então:

$$W_p = m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 = \frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2}$$

Assim, também pode-se reescrevê-la da seguinte forma:

$$\Delta E_c = -\Delta E_p \quad (\text{Eq. 3.30})$$

Nota-se então que, para esse movimento da partícula no campo gravitacional, supondo a ausência de forças dissipativas, tal como a resistência do ar, a perda de uma quantidade de energia, a potencial gravitacional por exemplo, implica num ganho equivalente de outra modalidade de energia associada, a cinética por exemplo.

Reagrupando os termos de outra forma, pode-se reescrever essa relação da seguinte maneira:

$$m \cdot g \cdot h_1 + \frac{m \cdot v_1^2}{2} = m \cdot g \cdot h_2 + \frac{m \cdot v_2^2}{2}$$

A essa soma que aparece nos dois membros da igualdade (energia cinética + energia potencial) dá-se a denominação de energia mecânica associada ao sistema. Assim:

---

<sup>1</sup> O conceito será discutido em 3.2.5.

$$E_{mec1} = E_{mec2}$$

Em outras palavras, diz-se que a energia mecânica é conservada quando o sistema está sujeito somente à ação de forças conservativas. Assim, tal sistema é dito conservativo, sendo que para ele:

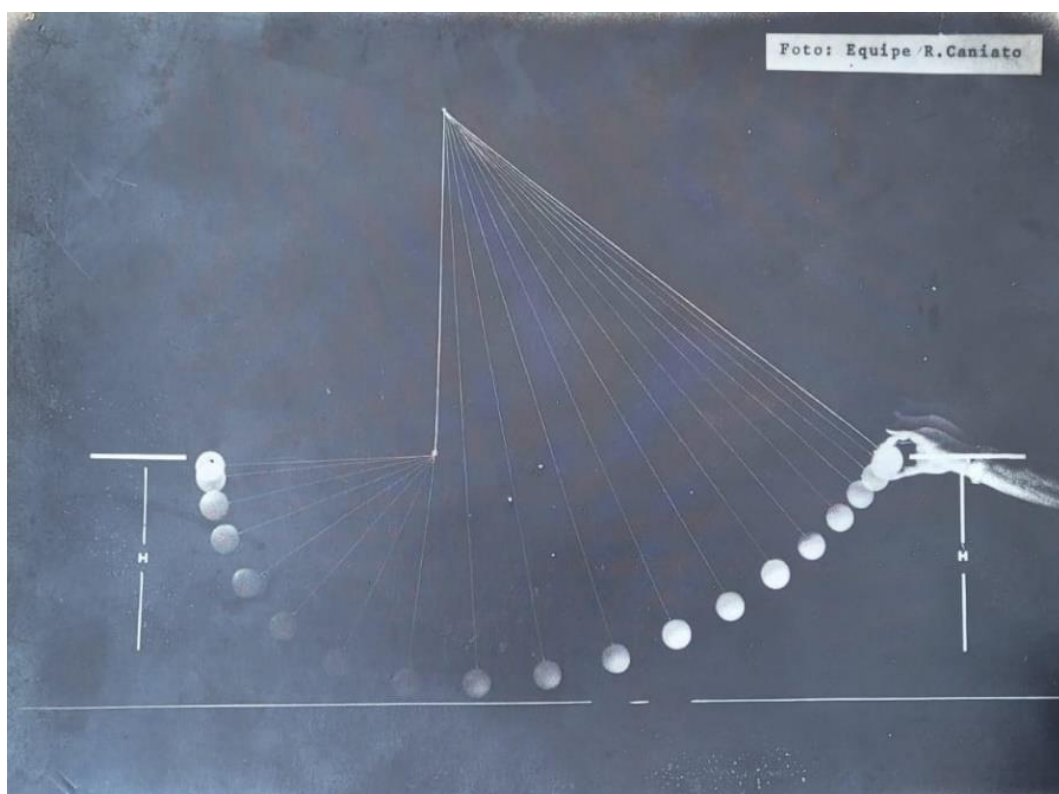
$$E_{mec} = constante \quad (\text{Eq. 3.31})$$

Pode-se observar a conservação da energia mecânica na imagem da Figura 3.27, a qual registra o movimento de um pêndulo simples que oscila em um plano vertical, com a esfera presa à extremidade de um fio cuja outra extremidade está fixa num ponto da parede.

A esfera é abandonada, sem velocidade, de uma certa altura. Na queda, a esfera ganha energia cinética e perde potencial. Logo após o fio passar pela vertical, há um pino preso à parede que bloqueia o movimento de uma parte dele.

Como as resistências são pequenas, a energia mecânica deve ser conservada. Assim, a esfera do pêndulo atinge, sem velocidade, uma altura final (à esquerda) igual à de inicial (à direita) da qual foi abandonada.

**Figura 3.27** – Conservação da energia mecânica em um pêndulo simples.



Fonte: Acervo do autor. Caniato, Rodolpho. UNICAMP. década de 1970.

Discussão análoga poderia ser realizada utilizando um sistema massa-mola oscilante, por exemplo, sobre um plano inclinado, conforme Figura 3.28.

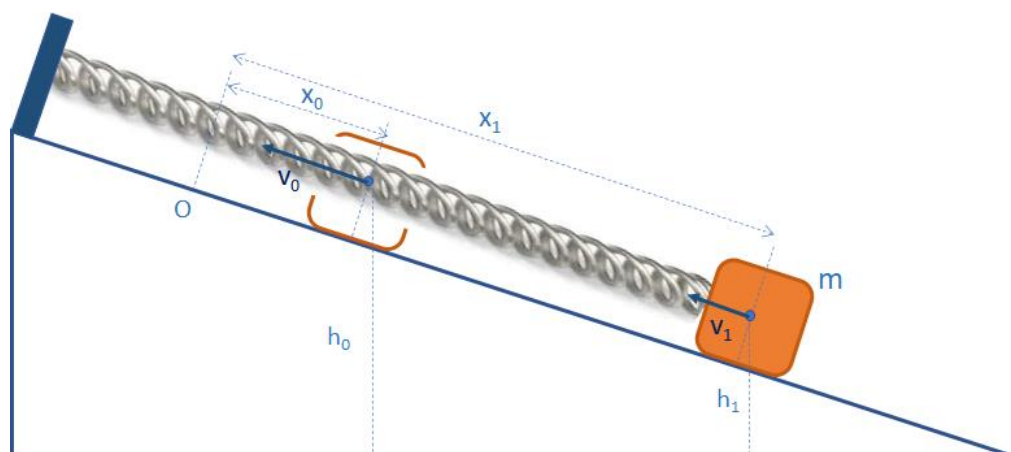
Na ausência de forças dissipativas, a de atrito e a resistência do ar por exemplo, o sistema será então conservativo e, assim, pode ser escrita a seguinte relação:

$$E_{mec1} = E_{mec0}$$

$$\frac{1}{2}k \cdot x_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 + \frac{m \cdot v_1^2}{2} = \frac{1}{2}k \cdot x_0^2 + m \cdot g \cdot h_0 + \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

Dessa maneira, uma vez a mola esticada e, logo a seguir, o corpo abandonado, o sistema passaria a executar um MHS sobre o plano, em torno de uma posição de equilíbrio.

**Figura 3.28** – Conservação da energia mecânica.



Fonte: elaborada pelo autor.

## 3.2.5 Torque de força e equilíbrio de corpos rígidos

### 3.2.5.1 Torque de uma força

Uma vez que as discussões até aqui têm-se dado em torno de conceitos e leis da Mecânica Newtoniana, este tópico tem início contemplando uma foto icônica de um local historicamente importante (Figura 3.29): o grande portal do *Trinity College*, faculdade autônoma da Universidade de Cambridge, instituição inglesa onde estudou Isaac Newton, bem como outras importantes personagens das artes e das ciências, tais como: Lord Byron, Charles Darwin, Vladimir Nabokov, Stephen Hawking, Emma Thompson, entre outros.

**Figura 3.29** – Grande portal do *Trinity College*.

Fonte: Saiko. *Trinity College Great Gate*. 2011. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trinity\\_College\\_Great\\_Gate\\_02.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trinity_College_Great_Gate_02.JPG). Acesso em: 2 dez. 2022.

O objetivo agora é discutir o conceito de torque e sua importância na rotação e no equilíbrio de um corpo rígido, tal como uma porta quando gira em torno de seu eixo fixo. Para tanto, claro que poderia ter sido utilizada qualquer outra porta para ilustrar a discussão, no entanto esse grande portal foi citado não só pelo contexto das discussões em pauta, mas também pela importância da instituição, uma das mais antigas universidades do mundo.

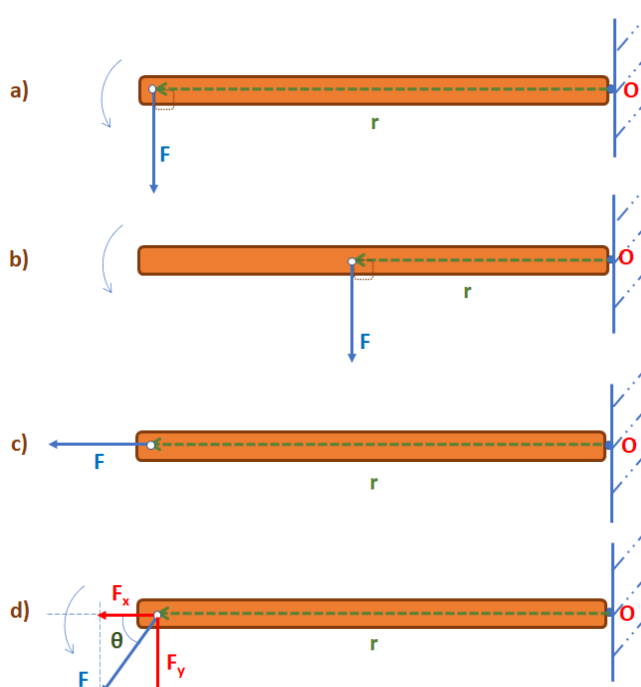
Para dar-se início à análise, propõe-se uma questão: por que a maçaneta de uma porta – tal como a do *Trinity College* – é geralmente colocada o mais distante possível do eixo de rotação da mesma?

Para responder a esse questionamento, deve-se observar a Figura 3.30 a seguir. Nela está representada uma porta, vista de cima, que pode girar em torno de um eixo fixo (perpendicular ao plano da figura) que passa por O (onde estão colocadas as dobradiças).

Sobre a porta, no local onde supõe-se estar a maçaneta, atua uma força  $\mathbf{F}$ , com o intuito de fazê-la rotar, sendo em cada caso com uma força em uma posição ou direção distinta.

Pergunta-se então: qual será das quatro propostas a situação em que a força é mais eficaz na produção de rotação da porta em torno de seu eixo?

Figura 3.30 – Força sobre uma porta.



Fonte: elaborada pelo autor.

A experiência mostra que no caso (a) a força será a mais eficaz em produzir rotação da porta em torno de O. No caso (b) a eficácia é menor do que em (a) e o motivo é a menor distância do ponto de aplicação da força em relação ao eixo que passa por O. Em (c) a força não consegue fazer a porta rotar em torno de O, pois a linha de ação da força está numa direção que intersecciona o eixo em O. Nesse caso, o mesmo ocorreria se a força fosse de compressão. No caso (d), decompondo-se a força para realização da análise, observa-se que a componente  $F_x = F \cdot \cos\theta$  não contribui para a rotação, pois ela apenas traciona a porta (como no caso anterior). A rotação é então provocada unicamente pela componente  $F_y$ , que tendo intensidade inferior a F apresenta eficácia rotacional inferior ao caso (a).

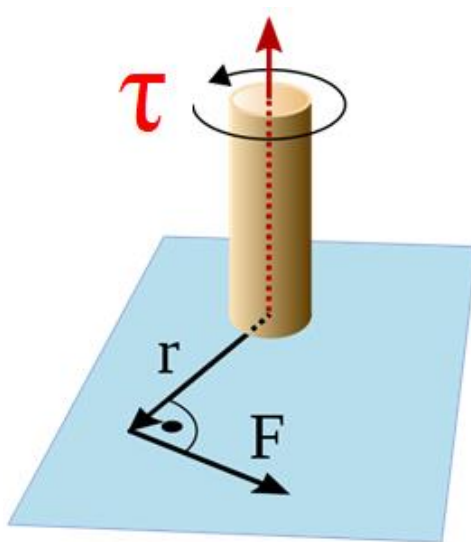
Dessa forma, levando em conta essas observações, para caracterizar essa propriedade da força, qual seja, sua eficácia rotacional, pode-se definir uma grandeza física – o torque da força ( $\tau$ ) em relação ao eixo que passa por O – da seguinte maneira:

$$\tau = r \times F \quad (\text{Eq. 3.32})$$

Deve-se observar que essa definição contempla as propriedades elencadas anteriormente nos quatro casos. Ainda, pela definição, observa-se também que o torque, sendo dado por um produto vetorial, é uma grandeza vetorial que tem direção perpendicular ao plano

dos vetores  $\mathbf{r}$  e  $\mathbf{F}$  e sentido dado pela regra da mão direita. No exemplo dado na Figura 3.31, o torque é perpendicular ao plano da figura e tem sentido “para fora” do mesmo.

**Figura 3.31** – Direção e sentido do torque.



Fonte: Pietz. **Forces at torque.** 2010. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drehmoment.svg>. Acesso em: 3 jul. 2023.

A palavra torque deriva do latim “*torquere*”, cujo significado é torcer. (Nussenzveig, 2013). No SI a unidade de torque é N.m, tal qual a unidade de trabalho ou energia, no entanto, há que se destacar que são elas grandezas de naturezas muito distintas. Note-se também que o trabalho é definido por um produto escalar de vetores e o torque por um produto vetorial (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Torque é uma grandeza física fundamental para análise dinâmica do movimento rotacional de um corpo rígido. No entanto, tendo em vista que esse tema não chega a ser contemplado no EM, a discussão aqui ficará restrita ao equilíbrio de corpos rígidos.

Além disso, quando é discutido o equilíbrio de corpos rígidos no EM, como será visto no tópico a seguir, geralmente as forças atuantes são coplanares, o que implica em também os torques serem coplanares. Sendo assim, nesses casos em que os torques são coplanares, por uma questão de simplicidade, serão considerados apenas escalarmente, sendo seus sentidos no plano indicado apenas por sinais (+) e (-), dependendo das orientações dos mesmos.

### 3.2.5.2 Equilíbrio de um corpo rígido

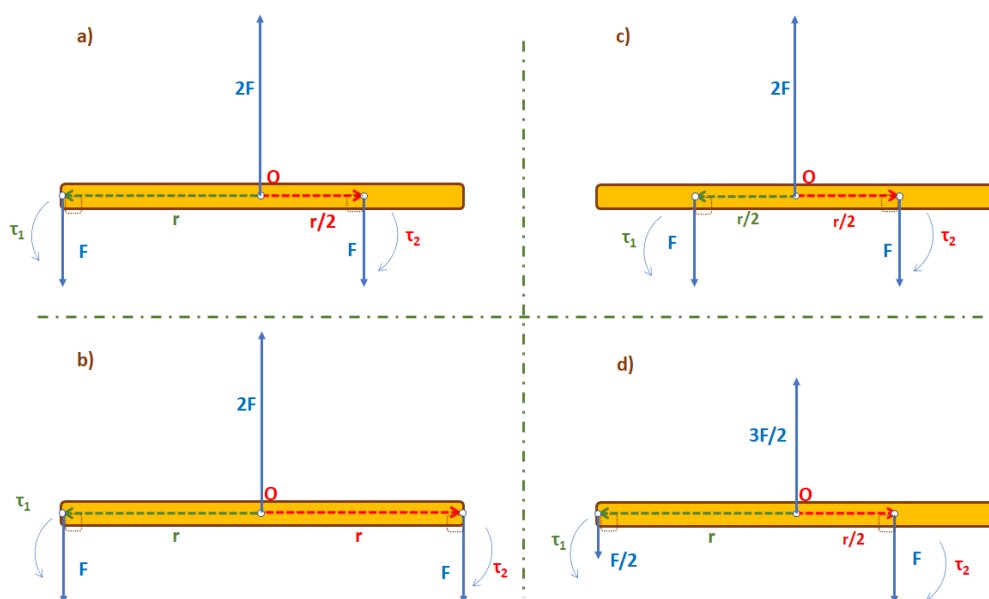
Utiliza-se o termo corpo rígido para designar um corpo indeformável quaisquer que sejam as forças nele aplicadas. Assim, sendo ele considerado indeformável, a distância entre

duas partículas quaisquer constituintes do corpo é invariável (Nussenzveig, 2013). Evidente que corpo rígido é uma idealização, uma vez que todos os corpos acabam por se deformar mais ou menos acentuadamente quando submetidos à ação de forças. No entanto, há muitas situações reais nas quais os corpos envolvidos podem ser considerados aproximadamente rígidos, tendo em vista as deformações sofridas serem “pequenas” face às dimensões gerais do corpo. A situação discutida anteriormente – as forças aplicadas numa porta – pode ser um bom exemplo disso.

Para que se possa compreender o equilíbrio de um corpo rígido de uma forma mais abrangente, ou seja, como um caso particular da dinâmica rotacional do mesmo, faz-se necessário levar em conta outras grandezas físicas, tais como o momento de inércia e o momento angular, bem como a lei de conservação a este associada. Mais uma vez, como esses conceitos e lei não chegam a ser apreciados no EM, a discussão sobre o equilíbrio de um corpo rígido será aqui analisada de uma forma um tanto mais simples, apenas intuitiva.

Assim, considere uma haste rígida e homogênea, apoiada sobre uma mesa, sendo que, por simplicidade, considera-se a ausência de atritos. Por O passa um eixo fixo e perpendicular ao plano da mesa. Em quatro situações propostas para discussão, a haste está submetida à ação de três forças, sendo duas delas no mesmo sentido, e uma terceira, aplicada no centro da haste, oposta às duas primeiras. As intensidades das forças, bem como as respectivas distâncias em relação ao centro da haste, variam conforme as proporções indicadas em cada um dos casos ilustrados na Figura 3.32 a seguir.

**Figura 3.32 – Haste sob ação de forças.**



Fonte: elaborada pelo autor.



Nos quatro casos indicados, observa-se que a resultante das forças externas sobre a haste é nula, o que garante seu equilíbrio translacional, de acordo com a 2ª Lei de Newton.

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \text{equilíbrio translacional} \quad (\text{Eq. 3.33})$$

Ainda nos quatro casos, em relação ao eixo que passa por O, a força  $2\mathbf{F}$  ou a força  $3\mathbf{F}/2$  têm torques nulos, ou seja, são ineficazes em termos rotacionais.

No caso (a) pode-se notar que as duas forças  $\mathbf{F}$  apresentam torques diferentes, sendo que o torque anti-horário (da força à esquerda de O) supera o torque horário (da força à direita de O). Assim, devido ao torque resultante ser não nulo, a barra adquirirá rotação acelerada em sentido anti-horário.

Já nos casos (b), (c) e (d) pode-se notar que as duas forças que, em cada um dos três casos, apontam para baixo, levando em conta suas intensidades e as respectivas distâncias em relação ao centro da haste, apresentam torques iguais em intensidade, porém em sentidos opostos. Dessa forma, a barra não terá rotação acelerada em qualquer sentido.

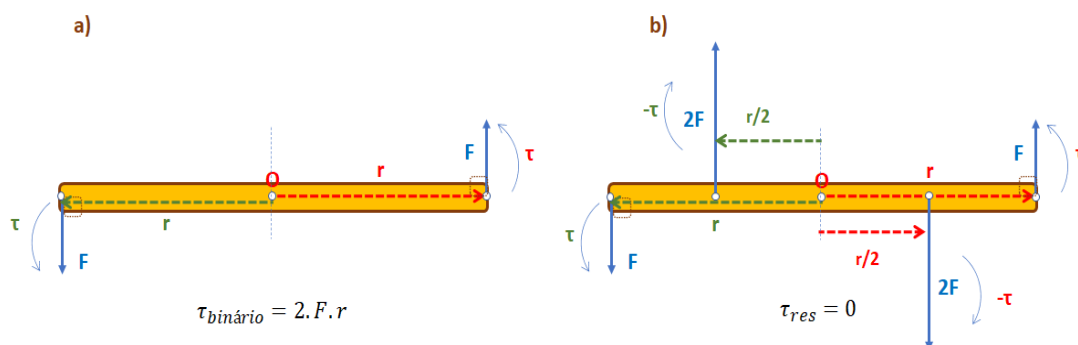
Assim, de forma intuitiva, pode-se compreender a necessidade de o torque resultante ser nulo para que haja equilíbrio rotacional. Dessa maneira, pode-se escrever:

$$\Sigma \vec{\tau}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \text{equilíbrio rotacional} \quad (\text{Eq. 3.34})$$

Portanto, diz-se que para a barra rígida estar em equilíbrio é necessário e suficiente que a resultante das forças externas atuantes sobre ela seja nula, bem como também seja nula a soma dos torques decorrentes dessas forças em relação a um eixo escolhido e que passa por um ponto da haste.

Uma situação interessante para discussão do equilíbrio da mesma barra é mostrada agora na Figura 3.33.

**Figura 3.33** – Binários.



Fonte: elaborada pelo autor.

No caso (a), duas forças iguais em intensidade e de sentidos opostos são aplicadas sobre a barra em pontos equidistantes do centro da mesma. Esse conjunto é então denominado binário.

Nesse exemplo, a resultante das forças aplicadas é nula, o que garante o equilíbrio translacional da barra. No entanto, os dois torques têm o mesmo sentido em relação ao centro (os dois para fora do plano), de modo que soma deles não será nula. Em módulo, o torque provocado pelo binário será igual a  $2Fr$ . Dessa forma, a barra vai adquirir rotação no sentido anti-horário.

Já no caso (b), observa-se que há dois conjuntos de forças. Em cada par elas são iguais em intensidade e em sentidos opostos. Portanto, tem-se agora dois binários. Novamente, a soma das forças é nula, o que garante o equilíbrio translacional da barra. Facilmente pode-se verificar também que os torques serão opostos, um para fora e outro para dentro do plano, porém os torques dos dois binários têm a mesma intensidade, o que garantirá o equilíbrio rotacional.

# Capítulo 4

## FÍSICA DOS MOVIMENTOS NA DANÇA

---

### 4.1 FÍSICA DOS MOVIMENTOS NA DANÇA

Como visto anteriormente, dançar é uma forma de comunicar-se com o outro. A dança consiste numa comunicação não-verbal que acontece quando o corpo executa movimentos em determinado ritmo. Na dança, com gestos, movimentos de translação e/ou de rotação, além de outros canais de comunicação, o ser humano expressa suas emoções, transmitindo sensações e sentimentos vividos, alguns que ele não consegue expressar somente com as palavras.

Os belos movimentos do(a)s bailarino(a)s e, às vezes, também as paradas momentâneas, ou seja, os instantes de ausência de movimentos, ambos expressos na arte da dança, podem também servir de cenário para uma discussão dos movimentos sob o ponto de vista físico, mais particularmente com o uso de leis e conceitos mecânicos.

Os movimentos de dançarino(a)s podem ser, por exemplo, simples deslocamentos ou caminhadas rápidas, saltos no ar e giros, entre outras possibilidades. Assim, grandezas físicas como velocidade, força, inércia, energia, torque, entre outras típicas do estudo da Mecânica básica, poderão estar presentes nas análises física desses movimentos.

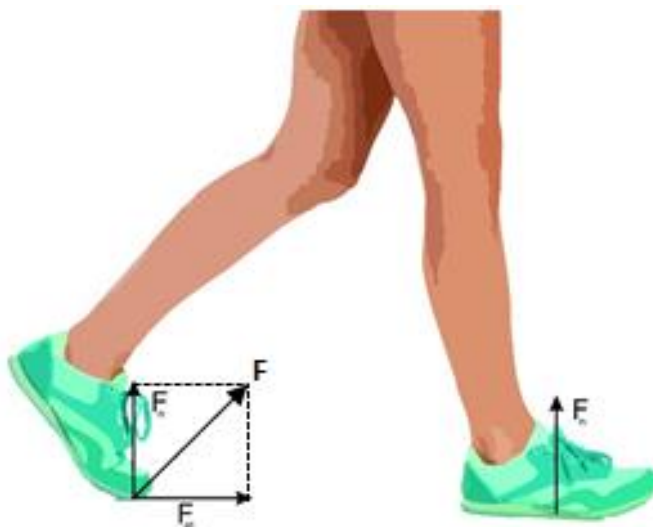
Uma simples caminhada, a título de exemplo, pode ser utilizada para discutir o conceito de força e a 3ª Lei de Newton (Ação e Reação).

Na caminhada, o peso do corpo é, em geral, transferido de uma perna a outra durante o ciclo da marcha (Figura 4.1). Esse movimento requer equilíbrio sobre uma das pernas, enquanto a outra se movimenta. Além disso, também são necessários movimentos combinados de tronco e de braços, com movimentos articulares presentes e os músculos atuando (Oliveira e Silva; Pantano Filho, 2017).

**Figura 4.1** – O ciclo de uma caminhada.

Fonte: Ducky2315. *Walking gait cycle starting with the left leg demonstrated*. 2014. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Walking\\_gait\\_cycle.png?uselang=pt-br](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Walking_gait_cycle.png?uselang=pt-br). Acesso em: 4 mar. 2024.

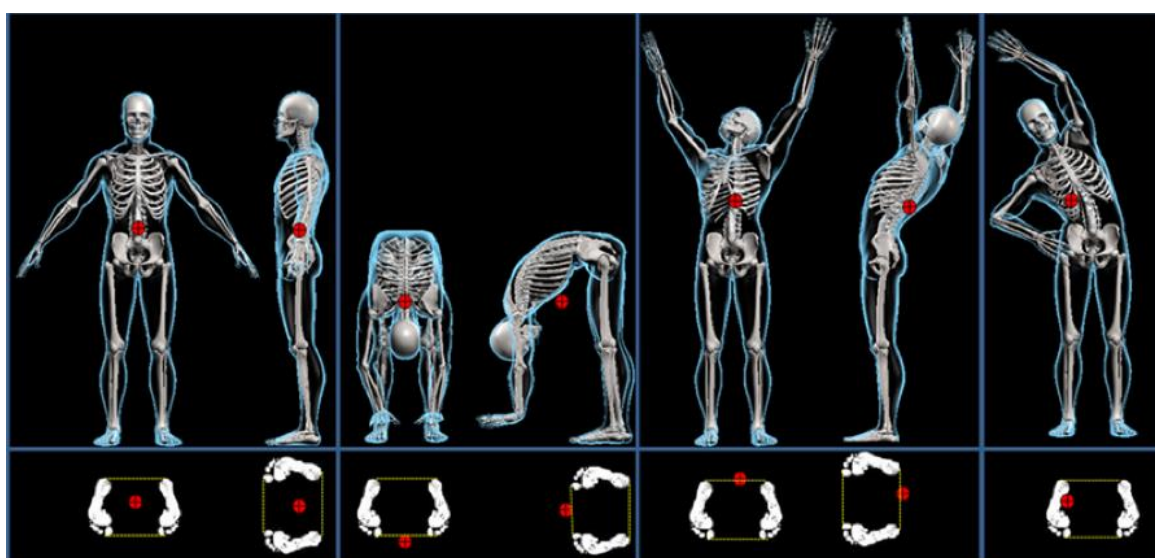
Quando alguém caminha sobre uma superfície, há interações entre os pés e o piso, bem como resistências a serem vencidas. Além de uma componente de força que garante a sustentação do corpo, há também uma componente que deve atuar sobre o corpo na direção e sentido do movimento. Portanto, a força que atua na região de contato entre o pé e o piso tem uma componente paralela às superfícies em contato, a qual é denominada força de atrito, que atua impedindo o escorregamento do pé que impulsiona o corpo, apoiando-se no piso (Figura 4.2). Se o atrito for muito reduzido, ao tentar impulsionar o corpo com o pé, a pessoa escorregaria sobre o pavimento, impossibilitando a passada (Oliveira e Silva; Pantano Filho, 2017).

**Figura 4.2** – Forças nos pés na caminhada.

Fonte: Oliveira e Silva; Pantano Filho (2017).

Outra possibilidade que pode ser explorada na dança é, por exemplo, o conceito de centro de massa (e o centro de gravidade) do(a) bailarino(a). É uma questão fundamental para o entendimento das alternativas de equilíbrio do corpo nas várias posições possíveis durante uma performance artística. Por exemplo, a análise das diferentes posturas do corpo, como exemplifica a Figura 4.3, pode possibilitar uma rica discussão sobre equilíbrio.

**Figura 4.3** – Centro de massa do corpo e equilíbrio.



Fonte: Pessali-Marques (2018).

Mais um exemplo, agora sobre a questão do equilíbrio e do posicionamento do CM de um corpo, pode ser explorado com a performance da dançarina Yurié Tsugawa (Figura 4.4), do grupo de dança contemporânea de Yoann Bourgeois.

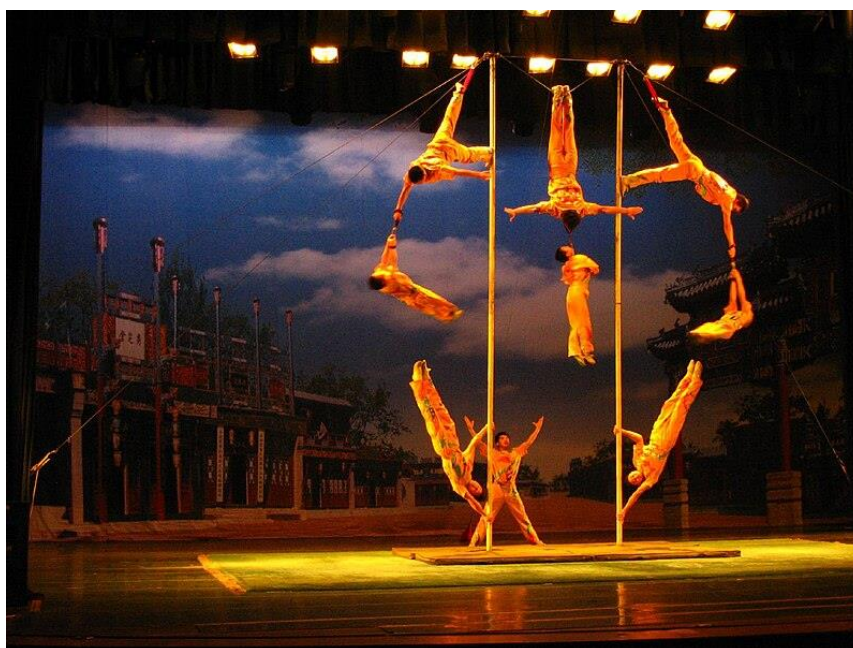
Yoann Bourgeois é um dançarino, coreógrafo e artista francês que cria situações dramáticas a partir de fenômenos físicos, como evidenciado por sua peça *Celui qui tombe*, na qual seis performers evoluem em um grande palco de madeira de 36 m<sup>2</sup> e tentam ficar de pé sobre ele enquanto restrições físicas são aplicadas a ele; o menor de seus gestos impacta a cenografia e vice-versa. Ele centra seu trabalho em torno do ponto de suspensão, algo particular comum a muitas disciplinas circenses, tais como trampolim, trapézio voador, malabarismo. É algo particularmente intenso emocionalmente pela sua leveza e pelo seu caráter efêmero. Cada um de seus dispositivos gravita em torno da noção de equilíbrio; ao longo dos anos ele traça uma obra que ele chama, a partir de 2014, *Tentatives d'approches d'un point de suspension*.

Um exemplo dessa instalação pode ser encontrado no vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=PxJ-FUb78q8>. Acessado em: 03 dez. 2023.

**Figura 4.4** – *Finding balance*.

Fonte: Elisa\_fossati. **Finding balance**. 2018. Disponível em: <https://twitter.com/YurieTsugawa/status/1044159331611086848>. Acesso em: 28 out. 2023.

Discussões sobre forças também podem derivar para análises de situações de equilíbrio estático. Nesse caso, a título de exemplo, a Figura 4.5 a seguir poderia servir de modelo para iniciar uma discussão sobre o equilíbrio de um sistema, no breve período em que os bailarinos se mantêm estáticos em uma apresentação acrobática de *Chinese Pole Dancing*.

**Figura 4.5** – *Chinese Pole Dancing*.

Fonte: Greg. **Chinese Pole Dancing**. 2005. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chinese\\_Pole\\_Dance.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chinese_Pole_Dance.jpg). Acesso em: 02 maio 2023.

Uma bonita apresentação dessas performances artísticas/acrobáticas (*Chinese Pole Dance*) que pode ser a geradora para uma discussão sobre equilíbrio está disponível: <https://www.youtube.com/watch?v=af48EjgpDp0>. Acessado em: 04 mar. 2024.

Outra dança acrobática - agora em uma situação dinâmica - que pode ser bem interessante para introduzir a discussão sobre as oscilações, o MHS por exemplo, é a praticada pelo(a)s dançarino(a)s acrobatas de “*Sway Pole*”, literalmente “Postes Oscilantes” ou “Bastões de Balanço”, conforme ilustrado na Figura 4.6.

Nessa performance, dançarino(a)s ficam balançando ao vento, preso(a)s em bastões flexíveis, em um estilo de atuação que combina teatro, dança e circo. O(a)s artistas apresentam-se balançando no ar, no alto de hastes flexíveis, criando uma imagem única e fascinante. A flexibilidade e a resistência dos bastões permitem que o(a)s artistas se curvem em ângulos bem acentuados, balançando para frente e para trás em uma dança visualmente cativante.

Uma belíssima performance de *Sway Pole* está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LHWXJ8HfabY>. Acessado em: 03 dez. 2023.

**Figura 4.6** – *Sway Pole*.



Fonte: Vanessa Infanzon. **Dançarinos acrobatas no Charlotte International Arts Festival**. 2022. Disponível em: <https://www.charlotteobserver.com/entertainment/arts-culture/article264566766.html>. Acesso em: 2 maio 2023.

Nas apresentações de danças também são frequentes movimentos aéreos, por exemplo gerados quando o cavalheiro eleva a dama na vertical, tal qual o movimento do forró mostrado na Figura 4.7. Esse movimento de elevação, portanto com ganho de energia potencial gravitacional, é geralmente antecipado por uma aproximação da bailarina com certa velocidade, ou seja, com uma energia cinética adequada para propiciar a elevação do corpo. Assim, esses movimentos podem ser utilizados para uma discussão sobre energia mecânica.

**Figura 4.7** – Movimento aéreo no forró.

Fonte: Natália Bezerra. **Apresentação de forró.** 2008. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apresenta%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Forr%C3%B3\\_\(2457928096\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apresenta%C3%A7%C3%A3o_de_Forr%C3%B3_(2457928096).jpg). Acesso em: 05 mar 2024.

Os movimentos aéreos também aparecem na capoeira - uma manifestação cultural afro-brasileira que envolve elementos de dança, arte marcial, música, jogo e religiosidade (Figura 4.8). Neles pode-se discutir o movimento do CM do corpo no que diz respeito às suas componentes horizontal e vertical, ou ainda a discussão pode ser dentro da temática energia.

**Figura 4.8** – Salto na capoeira.

Fonte: Joeri Cornille. **Capoeira.** 2005. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Capoeira\\_-\\_33376287.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Capoeira_-_33376287.jpg). Acesso em: 05 mar 2024.



O mesmo acontece no balé – dança originária nas cortes da Itália renascentista durante o século XV (Assumpção, 2002), posteriormente muito desenvolvida na Inglaterra, Rússia e França (Figura 4.9). Nessa dança clássica são diferentes tipos de saltos que podem ser analisados: *petit jeté*, *jeté ordinaire*, *grand jeté*, *grand jeté en avant*, *grand jeté en tournant*, *jeté passé*, *jetés battement*, *jetés elancés* e, na escola russa, ainda o *jeté fermé*.

**Figura 4.9** – Salto no balé.



Fonte: **Tänzerin Katja Morozova**. 2014. Disponível em: <https://imaedia.de/canon-eos-7d-mark-ii-workshop/>. Acesso em: 05 mar 2024.

Outra dança interessante que pode ser explorada fisicamente é a dança rodopiante dos dervixes, uma manifestação cultural/religiosa típica de Istambul e Capadócia, entre outras cidades da Turquia (Figura 4.10). Embora pareça com uma performance artística, na verdade a cerimônia ainda é de caráter religioso. Continuamente, eles estendem suas mãos, a palma da mão direita virada para cima (para obter a graça de Deus) e a palma da mão esquerda voltada para baixo (para passar esta graça para o mundo). Enquanto os músicos estão tocando os seus instrumentos, eles giram, por horas, aumentando lentamente a velocidade e intensidades dos movimentos.

Não obstante a discussão sobre momento de inércia e conservação o momento angular não faça parte do programa típico do EM, é possível explorar com alguma facilidade a questão da inércia rotacional e a velocidade de rotação.

Uma apresentação dessa cerimônia pode ser vista está disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=7I1N0c\\_f8nY](https://www.youtube.com/watch?v=7I1N0c_f8nY). Acessado em: 05 mar. 2024.

Figura 4.10 – Dança Dervixe.



Fonte: Roy Egloff. *The Sufi Whirling Dervishes in Pamukkale, Turkey*. 2011. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TR.DN.Pamukkale\\_The-Sufi-Whirling-Dervishes\\_71\\_3x2-R\\_4K.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TR.DN.Pamukkale_The-Sufi-Whirling-Dervishes_71_3x2-R_4K.jpg). Acesso em: 05 mar. 2024.

Ainda, o movimento de um corpo em um plano inclinado – tema clássico quando se discute as aplicações das Leis de Newton - também pode ser analisado, por exemplo, em uma performance artística dos coreógrafos Aurélien Bory e Phil Soltanoff, denominada *Plan B*. (Figura 4.11).

Figura 4.11 – *Plan B*.

Fonte: Compagnie 111. **Plan B**. 2013. Disponível em: <https://www.cie111.com/en/spectacles/plan-b/>. Acesso em: 2 maio 2023.

*Plan B* é uma peça para quatro homens, acrobatas e malabaristas, apresentada em 2003. Bory, que foi malabarista de circo, e Soltanoff, um encenador, elevaram o palco, criando um plano inclinado como um escorregador infantil. Esse foi o início do *Plan B*: mudança de eixo, quebra da verticalidade, adotar uma posição lateral... Essa apresentação, também muito bela esteticamente, permite explorar os escorregamentos no plano inclinado está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4skNcjGZsr0>. Acessado em: 03 dez.2023.

Outra possibilidade é a utilização de uma dança folclórica mexicana – a Dança dos Voadores – que também pode servir de mote para a discussão dinâmica dos movimentos, particularmente do movimento curvilíneo e o tradicional pêndulo cônico.

A Dança dos Voadores é uma dança da tradição mexicana, com séculos de existência, na qual os bailarinos sobem em um poste a 30 m de altura e, posteriormente descem, com uma corda atada numa das pernas e numa plataforma girante que está no alto do poste (Figura 4.12). Esta cerimônia indígena é praticada em vários estados mexicanos, particularmente no estado de Puebla.

**Figura 4.12** – Dança dos Voadores.



Fonte: George Daza. *Ritual histórico de los Voladores de Papantla*. 2022. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voladores\\_de\\_Papantla\\_en\\_la\\_Ciudad\\_de\\_México.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voladores_de_Papantla_en_la_Ciudad_de_México.jpg). Acesso em: 05 mar. 2024.

Assim, com esses e outros exemplos possíveis, pode-se observar que nas diversas modalidades de dança, sejam elas folclóricas, de salão, clássicas, contemporâneas, entre outras

modalidades, há um imenso repertório para a exploração dos movimentos do ponto de vista físico. Quando analisadas fisicamente, as danças contemplam conceitos que no estudo da Mecânica básica são muito importantes, tais como: deslocamento, tempo, velocidade, aceleração, força, energia, torque, equilíbrio e tantos outros, além das leis a eles associadas.

Dessa forma, nos capítulos seguintes passa-se ao cerne desse estudo, ou seja, discutir alguns importantes conceitos físicos partindo da análise de movimentos em algumas modalidades de dança.

# Capítulo 5

## PERCURSO METODOLÓGICO

---

### 5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Visando à integração da Física com a Dança, objetivo principal dessa pesquisa, o PE desenvolvido propõe atividades nas quais são utilizados vídeos de danças, em suas várias modalidades (folclórica, clássica, contemporânea ou de salão, entre outras), bem como imagens instantâneas de bailarino(a)s em posições típicas de suas performances artísticas, ambos como elementos motivadores para a discussão dos conceitos físicos envolvidos e as leis a eles associados.

A ideia é que as várias atividades permitam a abordagem de alguns temas importantes da Mecânica Newtoniana, tais como: movimento, referencial, força, aceleração, equilíbrio, ação gravitacional, energia mecânica e torque.

O PE proposto no presente trabalho foi pensado para ser aplicado em turmas de EM, em geral de primeiro ano do curso, período de escolaridade no qual, geralmente, introduz-se a Mecânica básica.

O PE foi programado para ser aplicado em seis etapas distribuídas ao longo de um ano letivo, sendo que ao menos uma delas em cada bimestre do ano.

Justifica-se a distribuição das atividades ao longo do ano letivo e não concentradas, por exemplo, em uma sequência didática, que ocuparia um conjunto de aulas relativamente próximas, pois considerou-se que para integrar Física e a Dança faz-se necessário apresentar a proposta de associação em um conjunto mais amplo de situações nas quais a integração esteja presente.

Dada à aparente distância entre as duas áreas de conhecimento, pensou-se que se as atividades fossem realizadas numa sequência concentrada em algumas aulas ou semanas seguidas ficaria para os estudantes a impressão de que a integração só poderia ser realizada em situações bem particulares, que abordariam temas muito específicos e não os conceitos e leis mais gerais da Mecânica.

## 5.2 ETAPAS DA PESQUISA

### 5.2.1 Elaboração do Produto Educacional

O PE intitulado “As Leis de Newton na Dança” consiste em um conjunto de seis atividades nas quais são exploradas as Leis de Newton e um rol de conceitos típicos da Mecânica básica desenvolvida no EM.

Para elaboração do PE, primeiramente pensou-se no conjunto de temas, dentro do contexto da Mecânica básica, que poderiam ser considerados mais relevantes para a apreensão dos elementos fundamentais dessa área da Física por parte dos estudantes e que, ao mesmo tempo, permitissem atividades conjuntas com o tema da dança.

Dessa forma, foram escolhidos os seguintes temas:

Tema 1 - Conceito de movimento e repouso - pois nesse tópico introduz-se as primeiras ideias: os conceitos básicos de posição, tempo e deslocamento, velocidade e referencial;

Tema 2 - A influência da gravidade terrestre sobre os movimentos cotidianos - porque ao discutir o movimento dos corpos no campo gravitacional, nas proximidades da superfície terrestre, os dois movimentos básicos são retomados, o MRU e o MRUV. Além disso, ampliam-se os conceitos de velocidade e aceleração, com a exploração do caráter vetorial das duas grandezas.

Tema 3 - As Leis de Newton – a justificativa da escolha está centrada, obviamente, na importância dessa discussão no contexto da Mecânica. Pode-se explorar aqui o conceito de força e suas naturezas - de campo e de contato -, bem como as condições de equilíbrio para uma partícula.

Tema 4 – As Leis de Newton (novamente) – pela mesma razão anteriormente destacada, agora com ênfase para a exploração da dinâmica dos movimentos curvilíneos, tema merecedor

de especial atenção para que os estudantes adquiram uma visão mais ampla sobre a aplicabilidade das três Leis.

Tema 5 - A energia e sua conservação – a justificativa também é inequívoca, por ser este o tema mais relevante da pauta das discussões, e que – como se sabe - extrapola o âmbito da Mecânica.

Tema 6 - As condições básicas para o equilíbrio dos corpos – pois aqui é ampliada a discussão sobre o equilíbrio, para além das partículas, agora com a discussão para os corpos rígidos e extensos.

Na escolha dos tópicos, tomou-se também o cuidado de verificar se todos os temas elencados estão em consonância com o estabelecido na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) - Ensino Médio (BRASIL, 2017).

Após a seleção dos temas a serem contemplados nas atividades propostas para o ano letivo, realizou-se uma busca - pela plataforma *Youtube* - de uma seleção de vídeos de diversas modalidades de dança para a composição das referidas atividades, de modo a contemplarem as discussões dos conceitos físicos envolvidos de acordo com o programa a ser desenvolvido.

Na etapa de seleção dos vídeos, houve o cuidado de escolher, entre as possibilidades encontradas, mais de uma modalidade de dança (folclórica, de salão, clássica, contemporânea etc.), visando a uma discussão mais abrangente do tema Física e Dança.

Além disso, também pela Internet, em especial pela plataforma *Wikimedia Commons*, foram selecionadas imagens representativas de bailarinos em momentos particulares de suas apresentações artísticas e que também contemplassem as discussões dos tópicos de Física destacados para as análises.

De posse dos vídeos e imagens escolhidos foram então construídos roteiros para leitura e discussão dos conceitos físicos escolhidos, bem como para servirem de instrumentos de avaliação sobre a apreensão dos conteúdos por parte dos estudantes.

Deve-se destacar que as várias questões propostas nos roteiros elaborados para as atividades são de caráter mais qualitativo, ou seja, evitou-se ao máximo trazer situações que envolvessem elementos quantitativos ou que exigissem cálculos mais elaborados. Esses são exceções nas atividades.

## 5.2.2 Implementação do Produto Educacional

As seis atividades previstas no PE foram implementadas ao longo do ano letivo, de acordo com o seguinte cronograma:

- ATIVIDADE 1: 1º bimestre letivo;
- ATIVIDADE 2: 2º bimestre letivo (meados);
- ATIVIDADE 3: 2º bimestre letivo (final);
- ATIVIDADE 4: 3º bimestre letivo;
- ATIVIDADE 5: 4º bimestre letivo (início);
- ATIVIDADE 6: 4º bimestre letivo (final).

Via de regra, cada uma das atividades foi apresentada e realizada pelos estudantes em uma aula simples (de 45 min) ou em um conjunto de aulas duplas com duração total de 1,5 h.

Destaca-se que para aplicação da atividade, tomou-se o cuidado de verificar se as salas de aula estavam adequadas para a projeção do vídeo, pois imagens e sons apropriados são fundamentais para o bom andamento dos trabalhos.

As atividades foram realizadas de duas maneiras, de acordo com a avaliação pelo autor sobre a complexidade dos temas nelas envolvidos:

- a) primeiramente os estudantes, divididos em grupos de quatro componentes, assistiam e analisavam vídeos ou imagens fixas. Em geral, também liam algum texto de apoio. Depois respondiam a um conjunto de questões propostas, visando ao entendimento e à incorporação dos conceitos envolvidos;
- b) num primeiro momento, eram apresentados e discutidos pelo professor alguns conceitos básicos sobre o tema. Logo em seguida, os estudantes, divididos em grupos de quatro componentes, assistiam e analisavam vídeos ou imagens fixas. Em geral, também liam algum texto de apoio. Depois respondiam a um conjunto de questões propostas visando ao entendimento e à incorporação dos conceitos envolvidos.

Durante a realização das atividades, salvo nos momentos de apresentação dos vídeos, os estudantes tinham a liberdade de analisar e discutir as situações propostas em outros ambientes que não fossem necessariamente a sala de aula (biblioteca, laboratório, pátio, espaços de convivência). Apesar dessa liberdade em termos ambientais, a maioria dos grupos optou pela permanência em sala de aula, pois isso facilitaria eventuais esclarecimentos das dúvidas surgidas nas discussões, com perguntas ao professor.

Ao final das atividades ou, no máximo, na semana seguinte, os grupos devolviam ao professor o relatório das respostas dos questionamentos feitos na atividade.



### 5.3 CONTEXTO DE PESQUISA

O PE proposto no presente trabalho foi aplicado ao longo do ano de 2023 em uma escola pública federal localizada na cidade de Bragança Paulista/SP.

A escola mantém cursos técnicos integrados ao EM, com três modalidades: Eletroeletrônica, Mecânica e Informática. Também no nível técnico, mas na modalidade concomitante e/ou subsequente, há um curso na modalidade Mecatrônica Industrial.

Em nível superior, a unidade contempla uma Licenciatura em Matemática, um bacharelado em Engenharia de Controle e Automação e um tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

No nível de pós-graduação – modalidade *lato sensu* - há dois cursos: Especialização em Ensino de Matemática nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental e Especialização em Gestão Estratégica de Tecnologia da Informação.

Tendo em vista a gama de cursos oferecidos, a escola é relativamente bem equipada com laboratórios de Física, Química e Biologia, bem como laboratórios e oficinas necessários para atividades nas áreas de Eletroeletrônica, Mecânica e Informática. Também todas as salas para as aulas teóricas e parte dos laboratórios são equipados com computadores, sistema de som e *Data Show*.

A aplicação aconteceu em três turmas de primeiro ano dos cursos técnicos (em Eletroeletrônica, Informática e Mecânica) Integrados ao EM, cada uma delas com aproximadamente 40 estudantes.

Os estudantes dessas três turmas são originários, majoritariamente, da cidade de Bragança Paulista/SP. Além desse grupo mais amplo, também há estudantes oriundos de algumas cidades do entorno, tais como Atibaia/SP, Camanducaia/MG, Extrema/MG, Itatiba/SP, Joanópolis/SP, Mairiporã/SP, Nazaré Paulista/SP, Pedra Bela/SP, Pinhalzinho/SP, Piracaia/SP, Socorro/SP, Tuiuti/SP e Vargem/SP.

Do ponto de vista socioeconômico, os estudantes, em média, podem ser alocados nos grupos correspondentes às classes C, D e E, de acordo com a classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, qual seja, Classe C (de 4 a 10 salários mínimos), Classe D (de 2 a 4 salários mínimos) e Classe E (recebe até 2 salários mínimos).

A escola mantém um programa de auxílio permanência, que é executado com verba repassada pelo MEC, por intermédio da Política Nacional de Assistência Estudantil - PNAES,

disponibilizando valores mensais em dinheiro para auxiliar nas despesas do estudante com alimentação, moradia, transporte, material didático, creche.

Esse programa tem por objetivo promover a permanência do estudante da instituição de ensino, atenuando os efeitos das desigualdades socioeconômicas, contribuindo assim para a melhoria do desempenho acadêmico, na intenção de prevenir e reduzir a evasão e retenção escolar.

O programa é destinado aos estudantes da escola com comprovada situação de vulnerabilidade socioeconômica, que tenham cursado escola pública e que tenham renda per capita de no máximo 1,5 salários mínimos (R\$ 1.320,00 atualmente).

No ano de 2023, pelo PNAES foram utilizados R\$ 633.982,91, contemplando: a) Programa de Auxílio Permanência (R\$ 397.922,76) para 154 estudantes do Ensino Médio Técnico (70,3%) e 65 do Ensino Superior (29,7%); b) Ações Universais (R\$ 2.000,00) para 10 estudantes do Ensino Médio Técnico (100%); c) Alimentação Escolar R\$ 100.000,00 para 340 estudantes do Ensino Médio Técnico (100%).

## 5.4 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A coleta de dados para análise, primeiramente de forma qualitativa, foi realizada por meio da apreciação das respostas elaboradas pelos grupos de estudantes e apresentadas por ocasião da realização de cada uma das atividades propostas. Após essa primeira análise, para apreciação na forma quantitativa, foram calculados os percentuais para cada uma das respostas consideradas satisfatórias, parcialmente satisfatórias ou insatisfatórias.

Alguns dados para considerações sobre as atividades também foram extraídos dos resultados das avaliações bimestrais, essas aplicadas no formato mais tradicional, ou seja, avaliações dissertativas que contemplaram certos conjuntos de questões para serem respondidas de forma individual em sala de aula. Pensadamente, foram introduzidas nessas avaliações algumas situações-problema ligadas de alguma forma aos conceitos explorados nas atividades realizadas, de modo a permitirem uma avaliação da maior ou menor efetividade da proposta.

Além disso, no final do ano letivo, também foram realizadas entrevistas com cada um dos três grupos participantes, separadamente, no formato de conversação livre, a partir da qual foram registradas as considerações dos estudantes que participaram da pesquisa.

# Capítulo 6

## PRODUTO DIDÁTICO ELABORADO

---

De acordo com o descrito em 4.2.1, o PE ficou composto das seis atividades a seguir nomeadas e acompanhadas de uma primeira descrição, ainda parcial:

### 6.1 ATIVIDADE 1: MOVIMENTO E REFERENCIAL

Essa primeira atividade consiste de uma discussão dos conceitos de movimento, repouso e referencial. Para a reflexão proposta e para contemplar a interação entre Física e a Dança, foram escolhidos dois vídeos de performances de dança contemporânea do grupo artístico dirigido pelo coreógrafo, dançarino e artista francês Yoann Bourgeois.

**Vídeo 1:** *Celui qui tombe* (Aquele que cai)

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=J-sJtUpftFU>.

Acesso em: 06 mar. 2023.

**Vídeo 2:** *Celui qui tombe* (Aquele que cai),

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=n0zqQxz4DHs>.

Acesso em: 06 mar. 2023.

Para se ter uma ideia da proposta, os dois vídeos mostram movimentos artísticos realizados pelo(a)s bailarino(a)s sobre uma grande plataforma girante. A Figura 6.1 a seguir registra um instantâneo da performance dos bailarinos.

**Figura 6.1** – Performance do(a)s bailarino(a)s da companhia de dança de Yoann Bourgeois.



Fonte: Alan Meban. *Celui qui tombe*. 2017. Disponível em: <http://alaninbelfast.blogspot.com/2017/10/celui-qui-tombe-he-who-falls-physical.html>. Acesso em: 02 jul. 2023.

## 6.2 ATIVIDADE 2: MOVIMENTO NO CAMPO GRAVITACIONAL

Essa segunda atividade consiste de uma discussão do movimento dos corpos no campo gravitacional, nas proximidades da Terra. Para a reflexão proposta e para contemplar a interação entre Física e a Dança, foram escolhidas fotos de múltipla exposição de bailarinos saltando, uma delas de um salto no Balé e outra de um salto no Hip Hop. Um exemplo desse tipo de imagem está contemplado na Figura 6.2 a seguir.

**Figura 6.2** – Salto de uma bailarina.



Fonte: Timothy A. Clary/AFP via Getty Images. “Madiba” - Nicolette Depass do Garth Fagan Dance. 2011. Disponível em: <https://www.gettyimages.co.uk/photos/garth-fagan-dance>. Acesso em: 01 out. 2023.

A partir das análises das imagens, a atividade propõe a discussão dos conceitos de velocidade e aceleração vetoriais no movimento, bem como a atuação da força peso sobre os corpos nas proximidades da Terra, contemplando ainda considerações sobre o movimento do centro de massa do corpo (CM).

### 6.3 ATIVIDADE 3: FORÇAS E EQUILÍBRIO

Essa terceira atividade consiste de uma discussão dos conceitos de força de campo e de contato, bem como sobre equilíbrio. Para a reflexão proposta e para contemplar a interação entre Física e a Dança, foi escolhido, primeiramente, um vídeo de dança aquática protagonizado pela dançarina, atleta e cineasta francesa Julie Gautier.

**Vídeo:** *AMA – a short film by Julie Gautier*

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=bdBuDg7mrT8>.

Acesso em: 06 mar. 2023.

A Figura 6.3 a seguir registra um instantâneo da performance da bailarina Julie Gautier sob a água em uma piscina.

**Figura 6.3** – Performance da bailarina Julie Gautier.



Fonte: Spark Seeker. **Les Films Engloutis**. 2018. Disponível em: <https://revistatrip.uol.com.br/tpm/julie-gauthier-mergulhadora-e-cineasta-danca-a-40-metros-de-profundidade-no-curta-ama>. Acesso em: 10 jul. 2023.

Na segunda parte da mesma atividade, agora tratando do equilíbrio, utiliza-se uma fotografia de um casal de bailarinos treinando para uma apresentação de dança acrobática. Assim, parte-se da imagem para a discussão do equilíbrio estático de partículas. Um exemplo disso está mostrado na Figura 6.4.

**Figura 6.4** – Performance acrobática.



Fonte: Artiestjen89. **Skillzgroup TwoB from Holland.** 2012. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acrobatics\\_skillz.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Acrobatics_skillz.jpg). Acesso em: 10 jul. 2023.

#### 6.4 ATIVIDADE 4: DINÂMICA DO MOVIMENTO CIRCULAR

Essa quarta atividade foi pensada para trabalhar os conceitos básicos da dinâmica do MCU: velocidade, aceleração radial e força resultante centrípeta. Para a reflexão proposta e para contemplar a interação entre Física e a Dança, foi escolhido um vídeo de uma dança folclórica típica da cultura dos Totonaca, um dos povos originários da região de Veracruz, México.

**Vídeo:** *Cultura mexicana, homens voadores.*

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KxHbKAN0AnQ&t=36s>.

Acesso em: 10 set. 2022.

A Figura 6.5 a seguir registra um instantâneo da Dança dos Voadores.

**Figura 6.5** – A Dança dos Voadores.



Fonte: Simon Burchell. **El baile ritual del palo volador, afuera de las ruinas de El Tajín, Papantla, Veracruz, México, 2007.** Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palo\\_volador,\\_Tajín,\\_México\\_06.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palo_volador,_Tajín,_México_06.jpg). Acesso em: 19 set. 2020.

## 6.5 ATIVIDADE 5: ENERGIA MECÂNICA

Essa quinta atividade consiste de uma discussão dos conceitos de energia mecânica nas suas formas tradicionais: potencial gravitacional, potencial elástica e cinética. A questão da conservação e da dissipação da energia também são contempladas na análise.

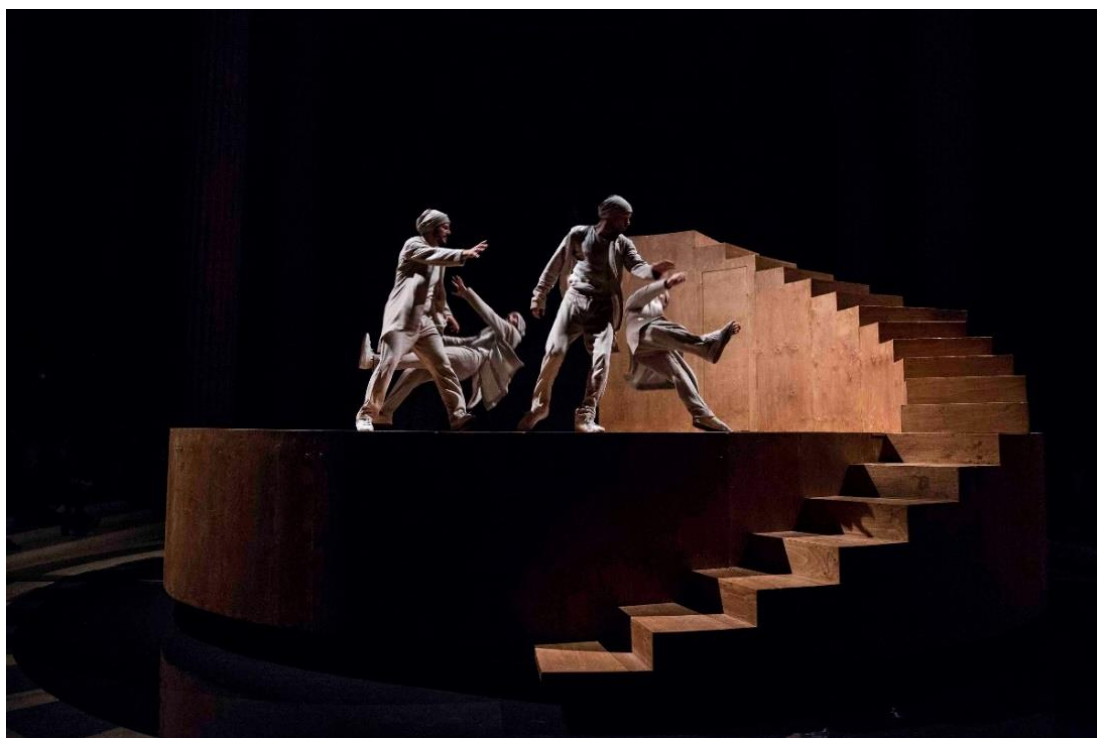
Para a reflexão proposta e para contemplar a interação entre Física e a Dança, mais uma vez foi escolhido outro vídeo de dança contemporânea do grupo de dança dirigido pelo coreógrafo, dançarino e artista francês Yoann Bourgeois.

**Vídeo:** *The Mechanics of History, at the Panthéon*

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FUE2qgx-xpM>.

Acesso em: 06 mar. 2023.

A Figura 6.6 a seguir registra um instantâneo da performance da companhia no Panthéon de Paris, em 2017.

**Figura 6.6** – Performance da Companhia de Yoann Bourgeois.

Fonte: HowNow. **La Mécanique de l'Histoire**. 2017. Disponível em: <https://hownow.eu/language/en/portfolio/la-mecanique-de-lhistoire-2/>. Acesso em: 10 jul. 2023.

## 6.6 ATIVIDADE 6: EQUILÍBRIO DE CORPO RÍGIDO

Esta sexta atividade foi pensada para uso em uma reflexão sobre os conceitos de torque, binário e equilíbrio de um corpo rígido. Primeiramente, para a reflexão proposta e para contemplar a interação entre Física e a Dança, mais uma vez foi escolhido outro vídeo, agora com uma instalação do casal de bailarinos Yoann Bourgeois e Marie Bourgeois, no Taikoo Place, Hong Kong, em 2019.

**Vídeo:** *Tentative Approaches to a Point of Suspension*

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=AQfmuSPxVDs>.

Acesso em: 06 mar. 2023.

A Figura 6.7 a seguir registra um instantâneo da performance dos bailarinos no Taikoo Place, Hong Kong, em 2019.



**Figura 6.7** – Performance do casal Yoann Bourgeois e Marie Bourgeois.



Fonte: Swire Properties. **Finding Balance Mécanique**. 2019. Disponível em: <https://www.swireproperties.com/en/art-and-culture/artistree/finding-balance-through-dance-and-circus-arts-with-yoann-bourgeois/>. Acesso em: 10 jul. 2023.

Na segunda parte da mesma atividade, para discussão do conceito de binário, utilizou-se outro vídeo, este de um casal de professores de tango, Emma Bogren e Richard Cepeda, fazendo uma demonstração de alguns movimentos desse gênero de dança típico da cultura portenha.

**Vídeo:** *Tango 203S with Enrosque and Lapiz to the Right*

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-yLP-NaM9iU>

Acesso em: 06 mar. 2023.

A Figura 6.8 a seguir registra um instantâneo da performance dos bailarinos Emma Bogren e Richard Cepeda, na *Los Angeles Tango Academy*.

**Figura 6.8** – Emma Bogren e Richard Cepeda em uma aula de tango argentino.



Fonte: Pinterest. **Tango 203S with Enrosque and Lapiz to the Right**. 2019. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/781304235381644068/>. Acesso em: 10 jul. 2023.

# Capítulo 7

## RELATO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO E DISCUSSÃO

---

Nos tópicos seguintes são apresentados os passos para implementação das seis atividades e ainda uma discussão dos resultados obtidos com a aplicação do produto educacional proposto.

Discute-se aqui as facilidades e dificuldades encontradas, as limitações e outras considerações importantes que podem ser levadas em conta quando do interesse de reprodução do PE, de forma a fornecer uma perspectiva de aplicação para os professores interessados, de outras escolas, muito provavelmente em outras realidades educacionais.

### 7.1 ATIVIDADE 1: MOVIMENTO E REFERENCIAL

Essa primeira atividade foi aplicada nas três turmas da escola logo no início do primeiro bimestre letivo, conforme as orientações estabelecidas na seção correspondente do capítulo anterior.

Assim, primeiramente, houve a aplicação de um questionário tratando do tema movimento, repouso e referencial. Após a aplicação do questionário, procedeu-se a projeção em sequência de dois vídeos de dança contemporânea já citados - *Celui qui tombe* (Aquele que cai), com Yoann Bourgeois e Marie Bourgeois. Cada um correspondia a uma performance distinta, porém do mesmo tema e com bailarinos da mesma companhia. Na sequência, após a

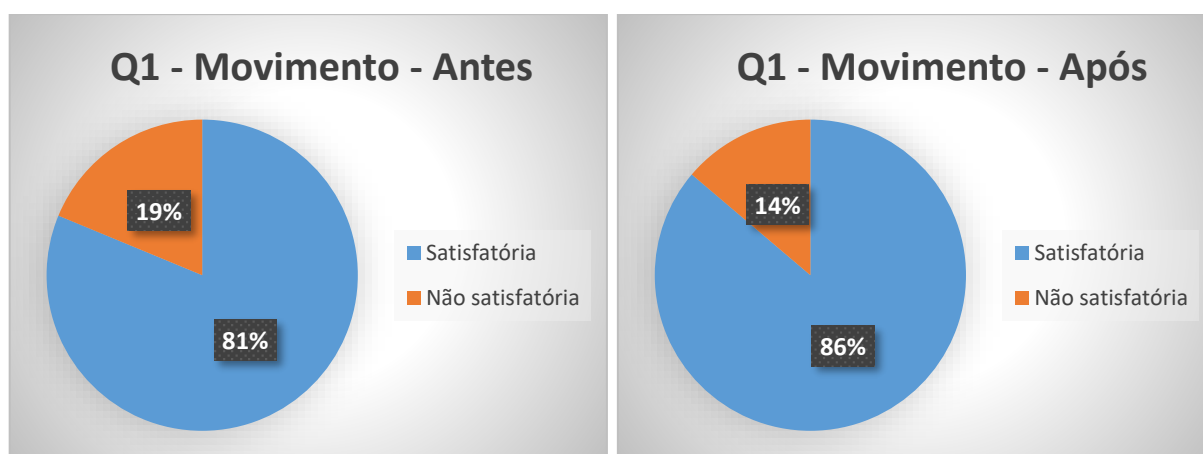
projeção dos dois vídeos, houve a solicitação para que os estudantes respondessem novamente ao mesmo questionário proposto inicialmente.

As Figuras 7.1 a 7.6 a seguir apresentam os resultados comparativos referentes às seis questões propostas na atividade, primeira etapa e segunda etapa, ou seja, antes e após os dois vídeos serem projetados. Antes de cada figura está reproduzido o enunciado da questão correspondente.

Questão 01) Um corpo está em **MOVIMENTO** quando \_\_\_\_\_

---

**Figura 7.1** – Resposta da questão 01 da Atividade 1.

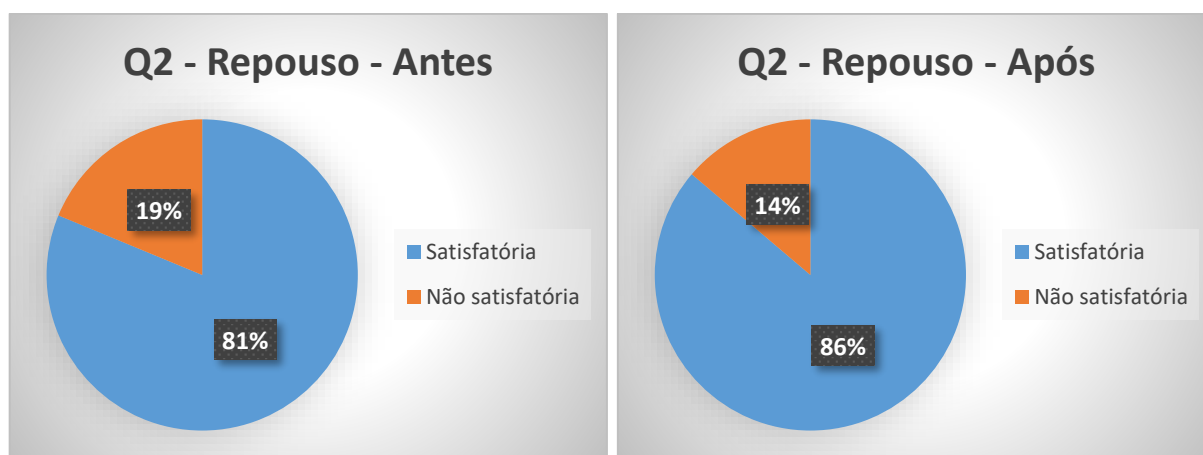


Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 02) Um corpo está em **REPOUSO** quando \_\_\_\_\_

---

**Figura 7.2** – Resposta da questão 02 da Atividade 1.



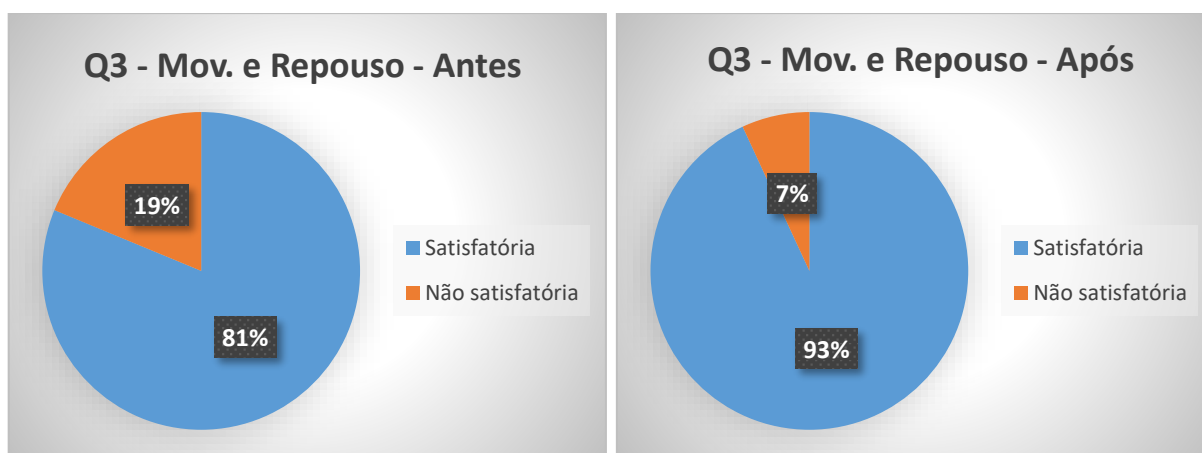
Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 03) Um corpo pode estar em **MOVIMENTO** e em **REPOUSO** ao mesmo tempo?

- a) SIM                      b) NÃO

Justifiquem e/ou exemplifiquem \_\_\_\_\_

**Figura 7.3** – Resposta da questão 03 da Atividade 1.



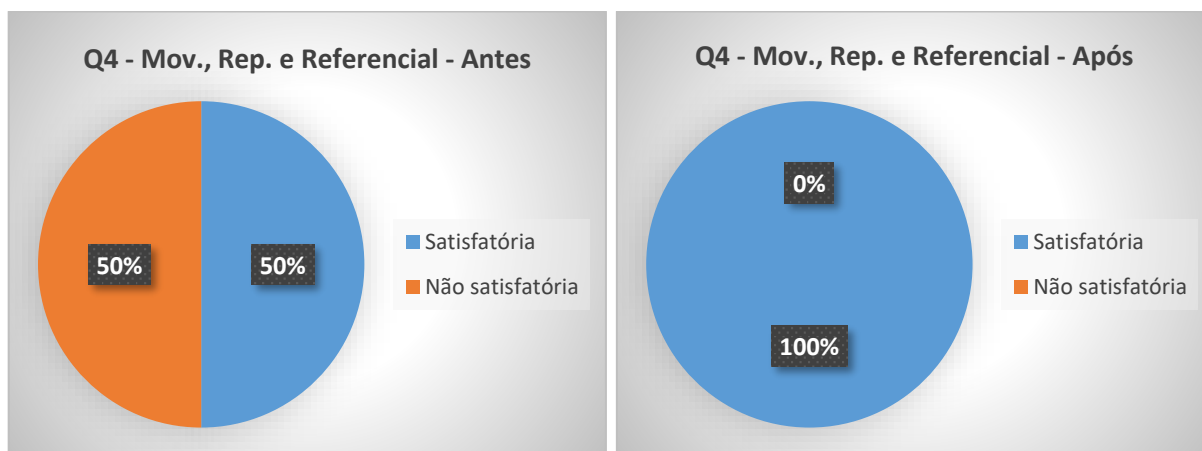
Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 04) Um corpo pode estar em **MOVIMENTO** para uma pessoa (um observador) e, no mesmo instante, em **REPOUSO** para outra pessoa (outro observador)?

- a) SIM                      b) NÃO

Justifiquem e/ou exemplifiquem \_\_\_\_\_

**Figura 7.4** – Resposta da questão 04 da Atividade 1.

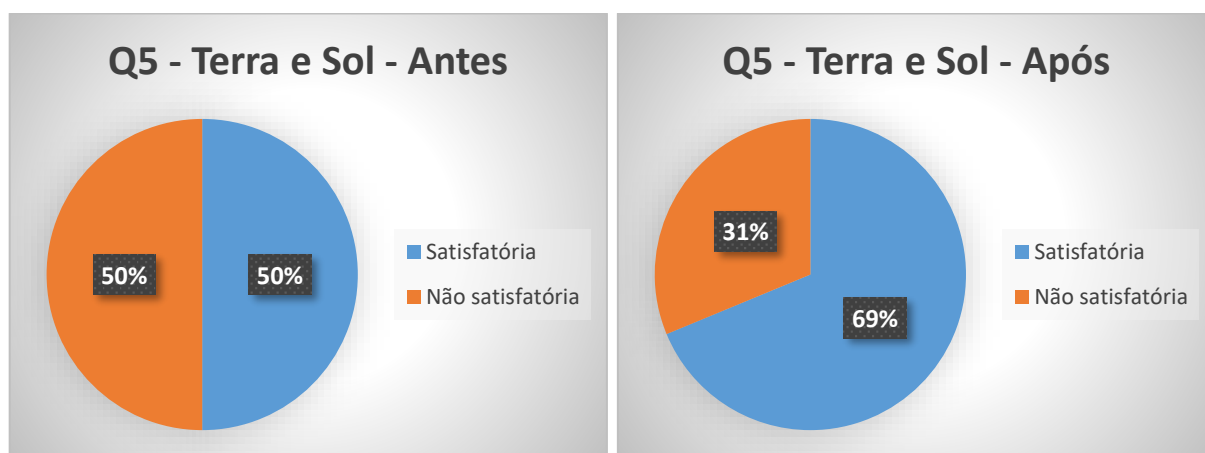


Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 05) Pode-se dizer que a Terra se move em torno do Sol? Ou podemos dizer que é o Sol que se move em torno da Terra?

Como vocês responderiam a essas questões? \_\_\_\_\_

**Figura 7.5** – Resposta da questão 05 da Atividade 1.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 06) **ARTE** (uma das definições) - é uma forma de o ser humano expressar suas emoções, sua história e sua cultura através de alguns valores estéticos, tais como beleza, harmonia, equilíbrio. A arte pode ser representada na música, na escultura, na pintura, no cinema, na dança, entre outras possibilidades.

**FÍSICA** (uma das definições) – ciência que investiga as leis do universo no que diz respeito à matéria e à energia, que são seus constituintes, e suas interações. A Física básica trata dos fenômenos mecânicos, ópticos, térmicos, eletromagnéticos, ondulatórios, etc.

**ARTE** e **FÍSICA** são duas áreas distintas do conhecimento humano ou, aparentemente, bem “distantes” uma da outra. Vocês acham que pode haver intersecções entre essas duas áreas?

Perguntando de outra forma: pode haver Arte na Física e/ou Física na Arte?

a) SIM

b) NÃO

Justifiquem e/ou exemplifiquem \_\_\_\_\_

---



---



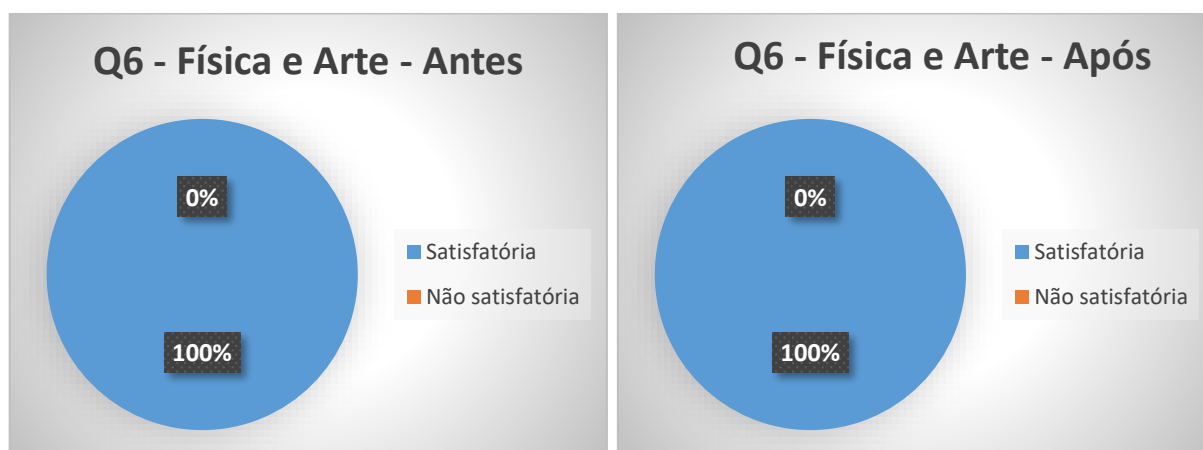
---



---



---

**Figura 7.6** – Resposta da questão 06 da Atividade 1.

Fonte: elaborada pelo autor.

Observou-se pelas respostas que para uma parte significativa dos estudantes o conceito de movimento estava fortemente associado à ideia exclusiva de “movimento em relação à Terra, ao solo, ao piso”. Em outras palavras, usar o conceito de movimento a partir de outros referenciais constituiu-se numa novidade para parte dos estudantes. Após a projeção dos vídeos, as manifestações na segunda discussão evidenciaram uma melhora no entendimento do conceito de movimento e repouso associados a um referencial não necessariamente fixo à Terra.

Outra observação interessante com relação às respostas e, de certa forma, já esperada: parte dos estudantes associou a ideia de movimento à existência de uma força atuando, ou seja, só há movimento se houver alguma força atuando sobre o corpo.

Pode-se perceber uma melhoria na compreensão dos conceitos comparando as respostas das questões propostas 01, 02 e, mais significativamente pelas questões 03 e 04, antes e após a projeção do vídeo. Observar Figuras 7.1, 7.2, 7.3 e 7.4.

A questão 03, propositadamente, permitia que fosse assinalado “SIM” se a análise fosse para diferentes observadores ou “NÃO” se a análise fosse para o mesmo observador. Vários grupos perceberam isso.

As mesmas dúvidas sobre movimento e referencial também apareceram, e mais fortemente, quando os estudantes foram questionados se é a Terra que se move em relação ao Sol ou se também podemos dizer que o Sol se move em relação à Terra. Nesse caso, houve melhora de entendimento do conceito, após a projeção do vídeo, mas observou-se que parte dos estudantes continuou com a ideia de que o correto é dizer que a Terra se move em relação ao Sol unicamente (Figura 7.5).

Outra observação merecedora de registro é que, decorridos uns quinze dias da aplicação da atividade, foi proposta uma avaliação escrita em sala de aula que continha a seguinte questão:

“Uma motocicleta com velocidade constante de 20 m/s ultrapassa um trem de comprimento igual a 100 m com velocidade constante de 15 m/s. Calcule o deslocamento da motocicleta durante a ultrapassagem.”

Sem que se tivesse feita a formalização matemática para cálculo de velocidades utilizando a típica discussão sobre a mudança de referencial, um parcela significativa de estudantes respondeu à questão pensando na velocidade da motocicleta relativa ao trem (5 m/s), ou seja, trocando de referencial, e calculando assim o tempo para, com essa velocidade, a motocicleta percorrer os 100 m (o comprimento do trem, como se este estivesse parado. Depois disso, aplicaram o tempo encontrado para o cálculo do deslocamento da motocicleta, utilizando a velocidade de 20 m/s.

Outra consideração pertinente é que nos dois vídeos 1 e 2 projetados as duas músicas das trilhas sonoras, respectivamente - *My Way*, com Frank Sinatra; e *Wild is the wind*, com Nina Simone – bem como seus intérpretes, são absolutamente desconhecidos pelos estudantes. Além disso, as danças utilizadas como mote para as discussões também não fazem parte dos repertórios da maioria, exceção para algumas poucas estudantes praticantes de dança. Assim, uma reflexão interessante para essa questão: o que fazer? Buscar temas de dança e música que contemplem os repertórios dos estudantes? Ou manter as escolhas, de modo a oferecer novas oportunidades aos estudantes, propiciando uma ampliação de seus conhecimentos sobre essas artes? Creio que a melhor opção é oportuniza-los ao contato com novas culturas.

## 7.2 ATIVIDADE 2: MOVIMENTO NO CAMPO GRAVITACIONAL

Essa segunda atividade também foi aplicada nas três turmas da escola em meados do segundo bimestre letivo, conforme as orientações estabelecidas no tópico correspondente do capítulo anterior. Os estudantes até então já haviam discutido o MRU, o MRUV, a queda livre, o lançamento horizontal e também o movimento oblíquo no campo gravitacional terrestre.

A atividade contemplou duas imagens de múltipla exposição de movimentos, uma do balé clássico e outra de Hip Hop, as duas de saltos de bailarinos, sendo que ambas propunham aos estudantes uma análise de aspectos do movimento registrado instantaneamente na imagem. Uma terceira imagem de um atleta de salto em altura também fez parte da atividade.

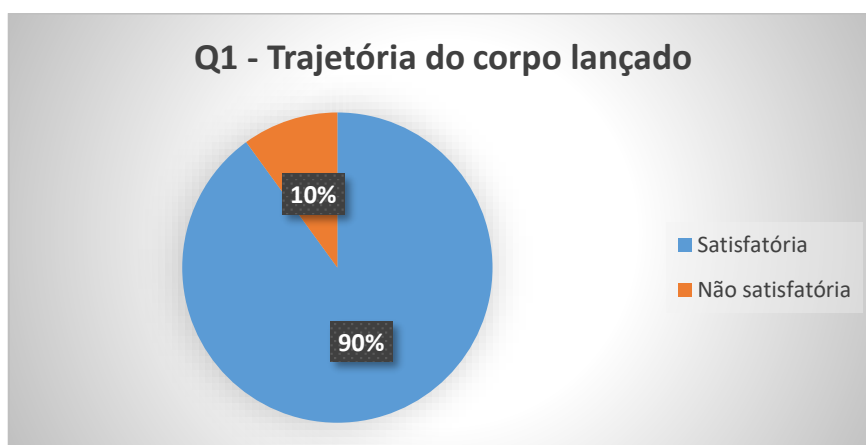
Nesse tema – os movimentos no campo gravitacional - os estudantes em geral encontram um pouco mais de dificuldade, tendo em vista a necessidade de utilizarem a

trigonometria básica para análise do movimento de um corpo lançado obliquamente. No caso das turmas, esse tópico ainda estava em desenvolvimento, em paralelo, e não encerrado pelo docente de Matemática. Assim, levando em conta essas dificuldades, as questões foram formuladas de modo que para respondê-las os estudantes não necessitavam realizar cálculos.

As Figuras 7.7 a 7.9 a seguir apresentam os resultados comparativos referentes às três questões propostas. Antes de cada figura está reproduzido o enunciado da questão correspondente.

Questão 01) Um corpo pequeno, denso e compacto é lançado obliquamente nas proximidades da Terra. Considerando desprezível a resistência do ar, pode-se dizer que a trajetória por ele descrita tem o formato: \_\_\_\_\_

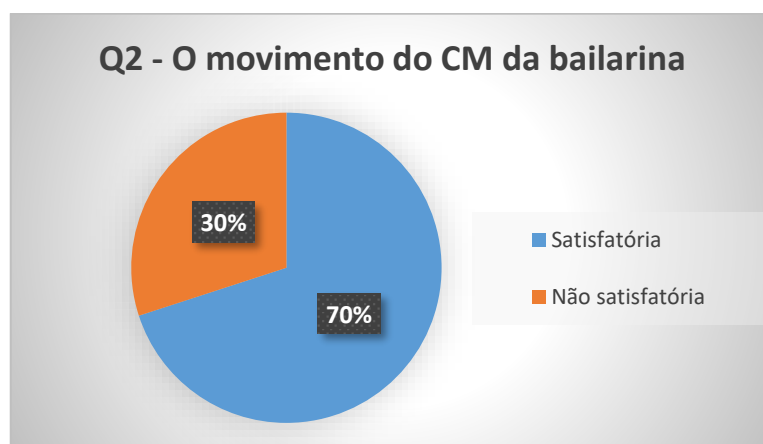
**Figura 7.7** – Resposta da questão 01 da Atividade 2.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 02) Qual a trajetória descrita pelo CM da bailarina?

**Figura 7.8** – Resposta da questão 02 da Atividade 2.



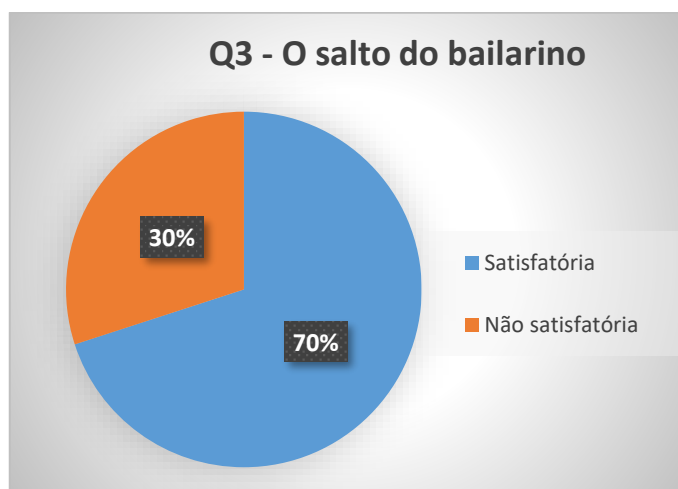
Fonte: elaborada pelo autor.



Ao responderem essa questão, pode-se verificar o entendimento do conceito de CM para um corpo extenso, pois a trajetória parabólica do CM da bailarina foi bem percebida pela maioria dos estudantes.

Questão 03) Imagine um salto oblíquo de um dançarino de Hip Hop. Ele está na sua máxima altura. Desenhe sobre a imagem dois vetores no centro de massa do bailarino: a) a velocidade vetorial no instante considerado; b) a ação gravitacional sobre ele.

**Figura 7.9** – Resposta da questão 03 da Atividade 2.



Fonte: elaborada pelo autor.

Sobre as forças atuantes, a aceleração e a velocidade do objeto no ponto mais alto da trajetória no lançamento oblíquo, percebeu-se nas respostas um pouco mais de dificuldade, pois parte dos estudantes considerou nula a velocidade no ponto mais elevado, talvez confundido com essa propriedade quando o corpo é lançado verticalmente.

Na Figura 7.9 entre os que responderam de forma considerada não satisfatória estão também os que entenderam corretamente a questão da força aplicada e a aceleração adquirida, porém apresentaram dúvidas sobre a existência de velocidade no ponto mais alto da trajetória do bailarino.

Questão 04) Agora um pouco de esporte. No salto em altura a técnica mais utilizada atualmente é o estilo Fosbury, inventada pelo norte-americano Dick Fosbury, nas Olimpíadas de 1968. Naquela competição, ele bateu o recorde olímpico, saltando 2,24 m. Mais tarde, em 1993, o cubano Javier Sotomayor bateu o recorde mundial na modalidade com 2,45 m. Imagine Sotomayor no momento do recorde, supondo que ultrapassou o sarrafo **horizontalmente** com velocidade 6,0 m/s. Considere ausência de resistência do ar e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Determine, a partir

desse instante: a) o tempo de queda do atleta; b) o alcance horizontal após ele ultrapassar o sarrafo; c) o valor da componente vertical da velocidade quando ele toca o solo; d) o valor da velocidade quando ele toca o solo.

Esta questão relacionada ao atletismo envolvia alguns cálculos característicos para análise do movimento oblíquo nas proximidades da terra. Como já era esperado, os estudantes encontraram dificuldades para respondê-la, uma vez que necessitavam um pouco mais de experiência com a trigonometria básica para análise do movimento. Assim, essa terceira questão proposta na atividade foi desconsiderada na análise.

Mais tarde, também foi proposta uma avaliação escrita em sala de aula que contemplou uma situação similar a essas da atividade, utilizando novamente um movimento de salto na dança. A questão da avaliação também propôs a análise do movimento do CM, bem como a análise da força aplicada e da velocidade no movimento. Na avaliação, pouquíssimos estudantes erraram a proposta de colocação dos vetores velocidade e aceleração no bailarino saltando, no ponto mais elevado da parábola descrita.

### 7.3 ATIVIDADE 3: FORÇAS E EQUILÍBRIO

Essa terceira atividade – contendo duas partes - também foi aplicada nas três turmas da escola na última semana do segundo bimestre letivo, conforme as orientações estabelecidas no tópico correspondente do capítulo anterior.

Aos estudantes, até então, já havia sido apresentado o conceito de força, antecipando o que seria discutido no início do terceiro bimestre: as três Leis de Newton.

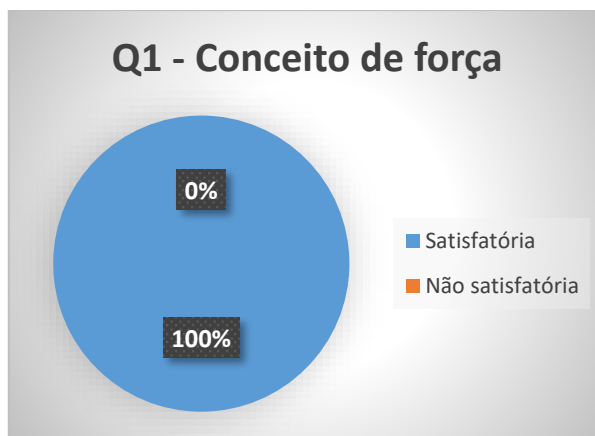
A primeira parte da atividade contemplou a projeção de um vídeo de dança aquática - *AMA – a short film by Julie Gautier*, da cineasta, dançarina e atleta Julie Gautier, praticante de apneia (mergulho livre).

Nessa primeira etapa, a discussão era meramente conceitual, não havia necessidade de nenhum cálculo ou representação gráfica, apenas o entendimento do conceito de força como interação entre dois corpos.

As Figuras 7.10 a 7.14 a seguir apresentam os resultados comparativos referentes às cinco questões propostas. Antes de cada figura está reproduzido o enunciado da questão correspondente.

Questão 01) **FORÇA** é uma grandeza \_\_\_\_\_ (escalar / vetorial) que consiste em uma ação de um corpo sobre outro, ou seja, representa uma interação entre dois corpos distintos. Assim, as forças ocorrem sempre \_\_\_\_\_ (isoladamente / aos pares).

**Figura 7.10** – Resposta da questão 01 da Atividade 3.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 02) Na natureza, encontramos forças de campo ou de contato. Conceitue e exemplifique cada modalidade.

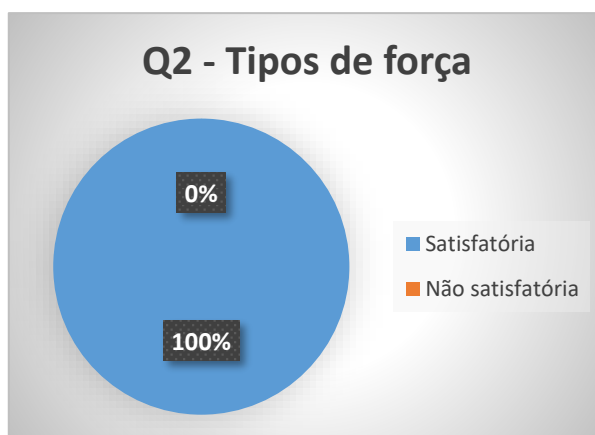
a) Forças de Campo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

b) Forças de Contato: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Figura 7.11** – Resposta da questão 02 da Atividade 3.

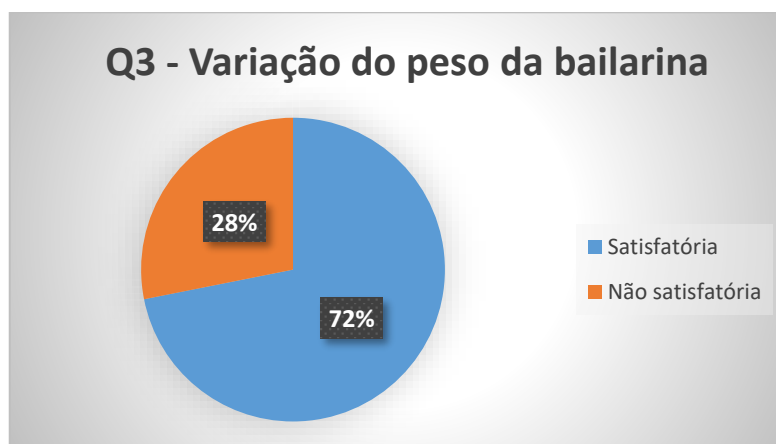


Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 03) No vídeo, a bailarina parece ficar mais leve ao dançar debaixo d`agua. Nesse caso, o peso da bailarina diminuiu? a) SIM b) NÃO

Expliquem \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Figura 7.12** – Resposta da questão 03 da Atividade 3.



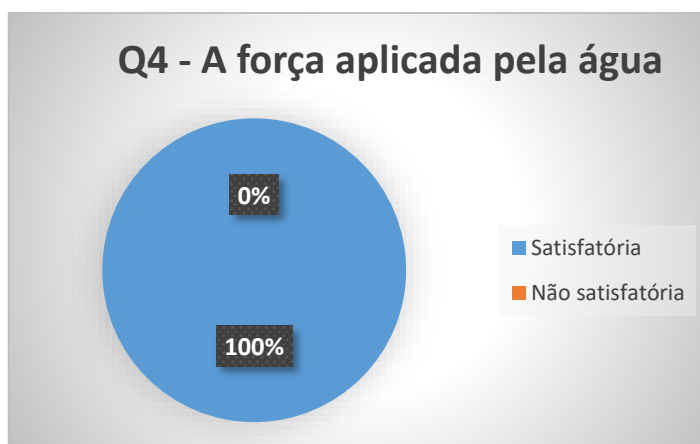
Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 04) Durante a performance debaixo d`agua, há alguma outra força sendo exercida sobre a bailarina além da força peso?

a) SIM b) NÃO

Expliquem \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Figura 7.13** – Resposta da questão 04 da Atividade 3.



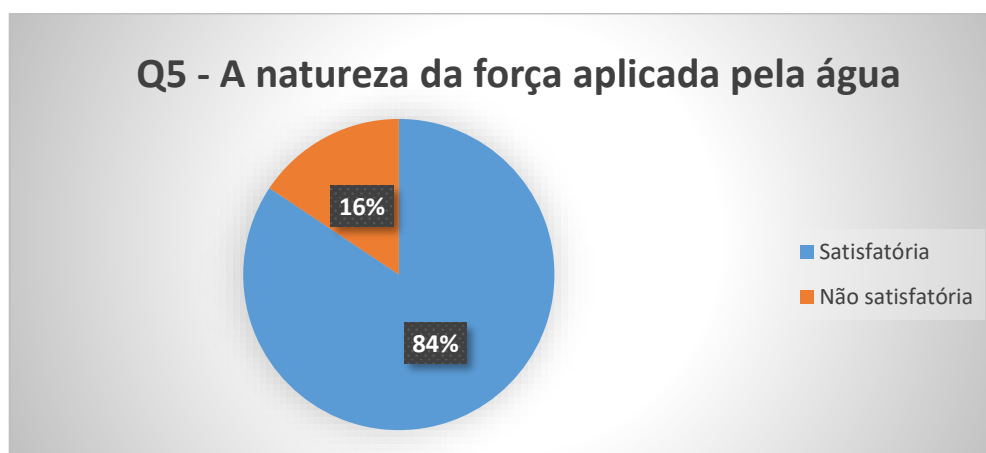
Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 05) Em caso positivo, essa força é de campo ou de contato? Pesquisem na Internet sobre essa força.

Expliquem \_\_\_\_\_

---

**Figura 7.14** – Resposta da questão 05 da Atividade 3.



Fonte: elaborada pelo autor.

O vídeo apresentado nessa primeira etapa foi bem apreciado pelos estudantes.

A atividade desenvolvida não ofereceu grandes dificuldades, facilitando aos estudantes o entendimento dos conceitos de força de campo e de contato.

Somente uma parte menor dos estudantes apresentou o entendimento equivocado de que debaixo d'água diminuiria a ação da gravidade sobre o corpo, portanto, com redução da intensidade da força peso. Para o grupo também não ficou clara a natureza da força aplicada pela água. Posteriormente, conversando um pouco mais sobre a questão, o entendimento melhorou ao destacarmos força como resultado de interação entre corpos, no caso com a água.

A segunda parte da atividade foi realizada com uso de uma imagem de um casal de bailarinos realizando um movimento acrobático em um ensaio para uma apresentação em palco.

As Figuras 7.15 a 7.21 a seguir apresentam os resultados comparativos referentes às sete questões propostas. Antes de cada figura está reproduzido o enunciado da questão correspondente.

Questão 06) Grandezas vetoriais são somadas de um modo um tanto distinto daquele usado para somar grandezas escalares, tendo em vista a necessidade de levarmos em consideração as direções e sentidos a elas associados. Explique sucintamente esse processo de soma.

a) Método do paralelogramo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

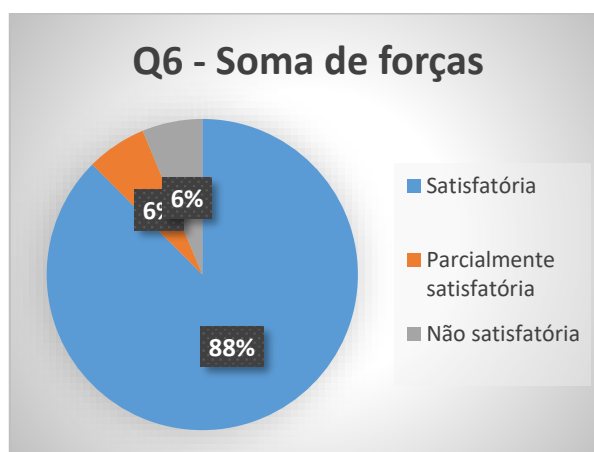
\_\_\_\_\_

b) Método da poligonal: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Figura 7.15** – Resposta da questão 06 da Atividade 3.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 07) Quando a resultante das forças aplicadas sobre uma partícula é nula, então ela está em equilíbrio. Esse equilíbrio pode ser estático ou dinâmico. O que significa cada caso?

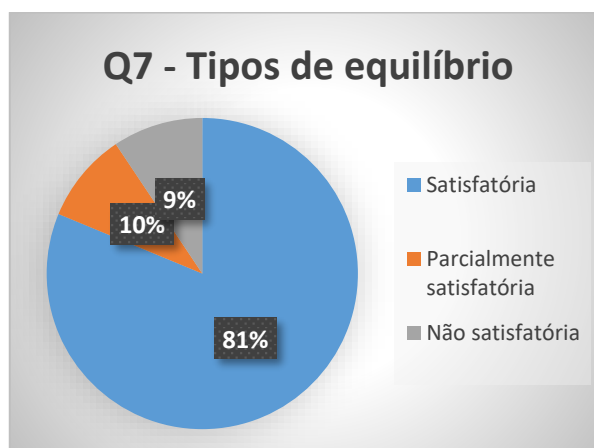
a) Equilíbrio estático: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

b) Equilíbrio dinâmico: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Figura 7.16** – Resposta da questão 07 da Atividade 3.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 08) Um corpo em **MOVIMENTO** pode estar em equilíbrio?

a) SIM

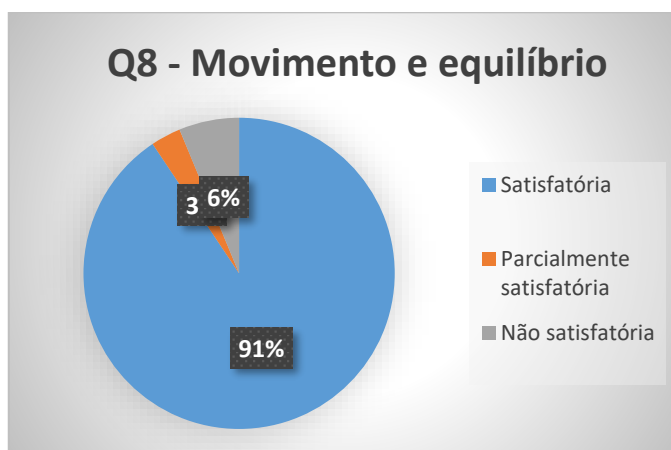
b) NÃO

Justifiquem e/ou exemplifiquem \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Figura 7.17** – Resposta da questão 08 da Atividade 3.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 09) Um corpo que **MOMENTANEAMENTE** tem velocidade nula está, necessariamente, em equilíbrio?

a) SIM

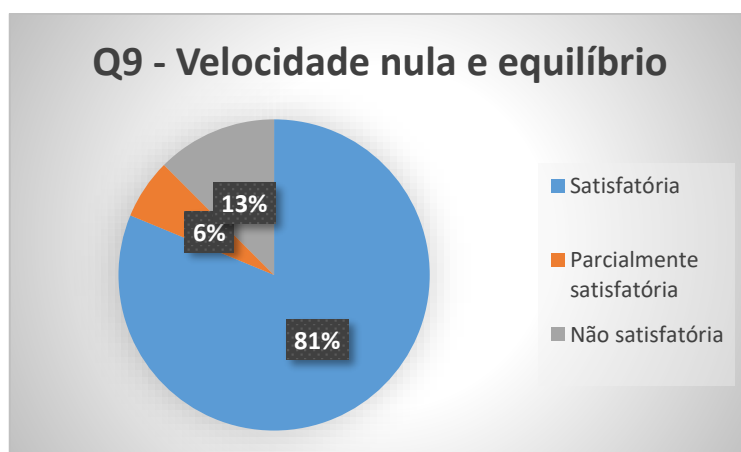
b) NÃO

Justifiquem e/ou exemplifiquem \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

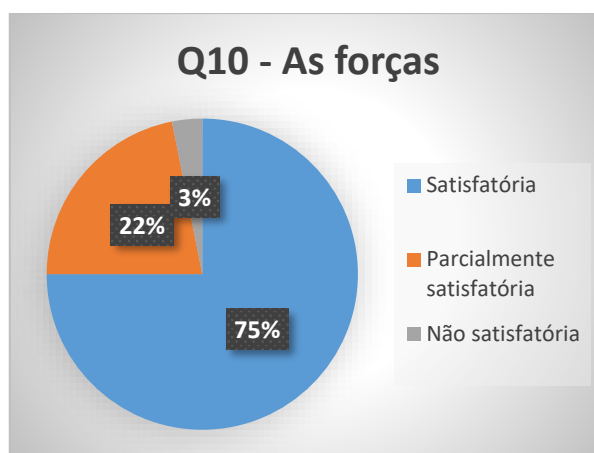
**Figura 7.18** – Resposta da questão 09 da Atividade 3.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 10) A figura registra um instante de equilíbrio em que dois bailarinos realizam um movimento acrobático em um ensaio para uma apresentação de dança. Supondo-os momentaneamente em equilíbrio e também que não há tendência de escorregamento relativo da bailarina sobre a perna do bailarino, representem na imagem as forças atuantes sobre eles.

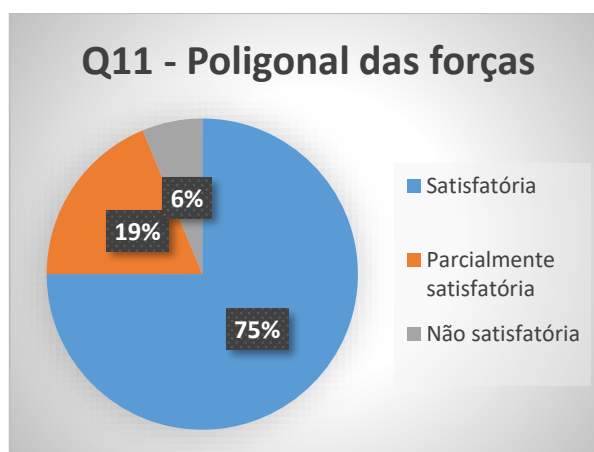
**Figura 7.19** – Resposta da questão 10 da Atividade 3.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 11) Novamente, supondo os bailarinos momentaneamente em equilíbrio, desenhe a poligonal de forças para cada um deles. Supondo a massa do bailarino igual a 100 kg e a da bailarina igual a 40 kg (valores fictícios), desenhe as forças em escala.

**Figura 7.20** – Resposta da questão 11 da Atividade 3.

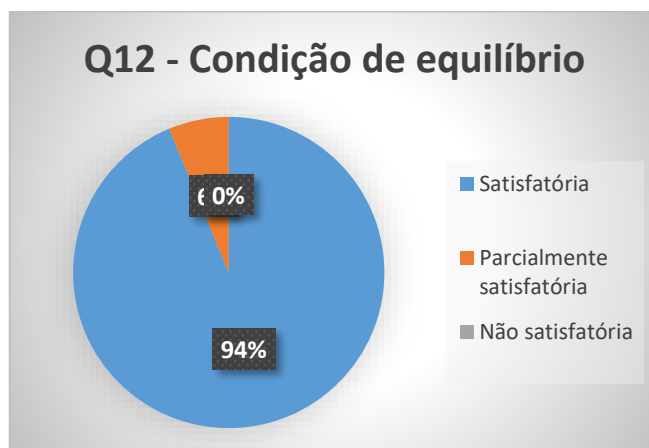


Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 12) Para cada bailarino, uma vez que está em equilíbrio, a poligonal de forças correspondente deve ser: \_\_\_\_\_

Justifiquem \_\_\_\_\_



**Figura 7.21** – Resposta da questão 12 da Atividade 3.

Fonte: elaborada pelo autor.

Por conta de outras atividades no campus, essa segunda etapa da atividade foi realizada por um grupo menor de estudantes (um pouco menos da metade) e não pelo grupo total de 140 estudantes, aproximadamente.

A questão 09, sobre velocidade nula e equilíbrio, necessitou uma intervenção do professor. De início, alguns estudantes apresentaram dificuldade de compreensão. Para eles, velocidade nula já seria sinônimo de equilíbrio, mas a dúvida é sanada quando se dá o exemplo de um corpo no ponto mais alto da trajetória após ter sido lançado verticalmente.

A colocação das forças sobre os bailarinos foi relativamente simples para os estudantes, apesar da dificuldade de alguns para a compreensão das forças entre eles – os bailarinos - e que compunham um par ação-reação. A montagem dos polígonos das forças de um e de outro bailarino em situação de equilíbrio também necessitou da intervenção do professor em várias oportunidades. Nas duas oportunidades houve necessidade da intervenção do professor

A atividade desenvolvida não ofereceu grandes dificuldades aos estudantes, facilitando o entendimento dos conceitos de equilíbrio.

#### 7.4 ATIVIDADE 4: DINÂMICA DO MOVIMENTO CIRCULAR

Essa quarta atividade também foi aplicada nas três turmas da escola no final do terceiro bimestre letivo, conforme as orientações estabelecidas no tópico correspondente do capítulo anterior. Nesse momento, aos estudantes já tinham sido apresentadas as três Leis de Newton e suas aplicações em trajetórias retilíneas e curvilíneas.

A atividade contemplou a leitura de um texto sobre uma dança folclórica da comunidade indígena Totonaca, descendente de um povo originário do estado de Veracruz, México. Após a leitura do texto, a primeira parte da atividade contemplou algumas perguntas sobre a mitologia envolvida na dança desse povo originário.

Em seguida, a segunda parte consistiu na projeção de um vídeo de dança, *Cultura mexicana, homens voadores*. Após o vídeo, propôs-se a discussão da dinâmica do movimento circular envolvido, discutindo conceitos de velocidade vetorial, aceleração radial e a resultante centrípeta.

As Figuras 7.22 a 7.29 a seguir apresentam os resultados comparativos referentes às sete questões propostas. Antes de cada figura está reproduzido o enunciado da questão correspondente.

Questão 01) A Dança dos Voadores é parte das tradições do povo Totonaca, um mito na cultura desses povos originários daquela região do México. O que se entende por mito?

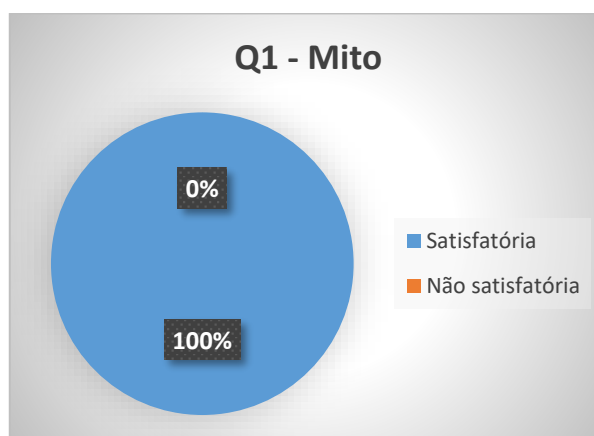
---

---

---

---

**Figura 7.22** – Resposta da questão 01 da Atividade 4.



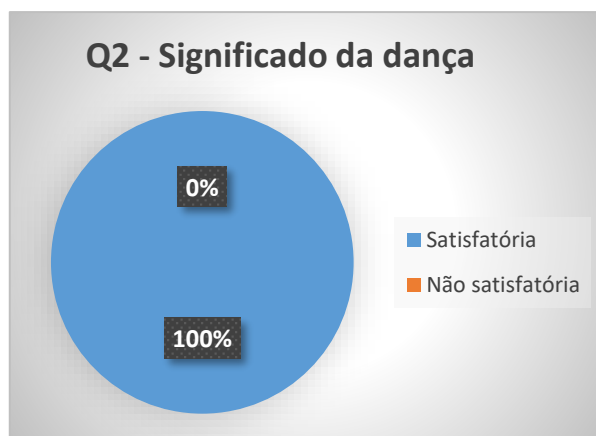
Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 02) Cite ao menos três significados da Dança dos voadores para o povo Totonaca.

---

---

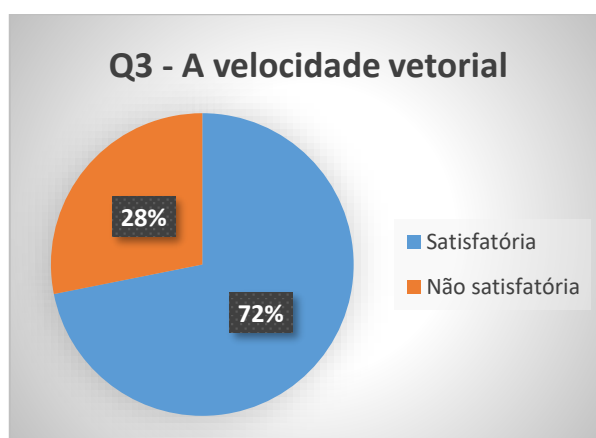
---

**Figura 7.23** – Resposta da questão 02 da Atividade 4.

Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 03) Qual a direção da velocidade de um dançarino em um determinado instante?

Reproduza a figura representativa do pêndulo cônico e represente a velocidade vetorial do corpo girante em determinado instante.

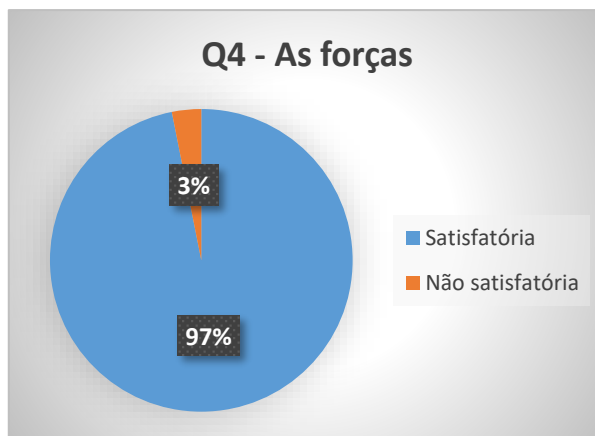
**Figura 7.24** – Resposta da questão 03 da Atividade 4.

Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 04) Quantas e quais são as forças atuantes sobre cada dançarino, durante a descida?  
Quantas: \_\_\_\_\_. Quais: \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_. Despreze a resistência do ar.

Represente-as na reprodução da figura característica do pêndulo cônico desenhada para responder à questão 03.

**Figura 7.25** – Resposta da questão 04 da Atividade 4.

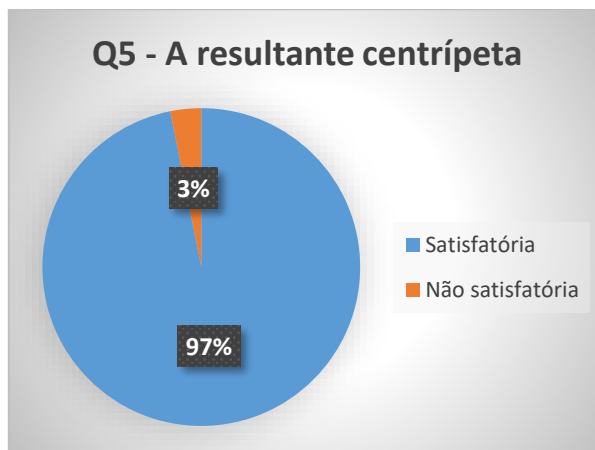


Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 05) Determine graficamente, na mesma figura, a resultante das forças assinaladas na questão anterior. Qual a sua direção e sentido? \_\_\_\_\_

---

**Figura 7.26** – Resposta da questão 05 da Atividade 4.



Fonte: elaborada pelo autor.

06) O que impede o dançarino de “sair” pela tangente?

---

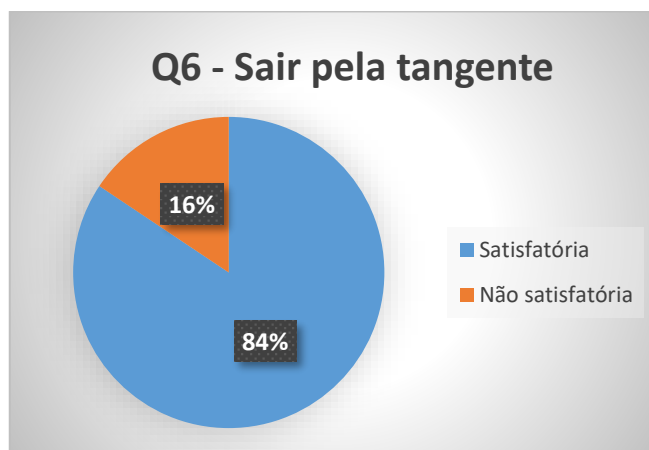


---



---

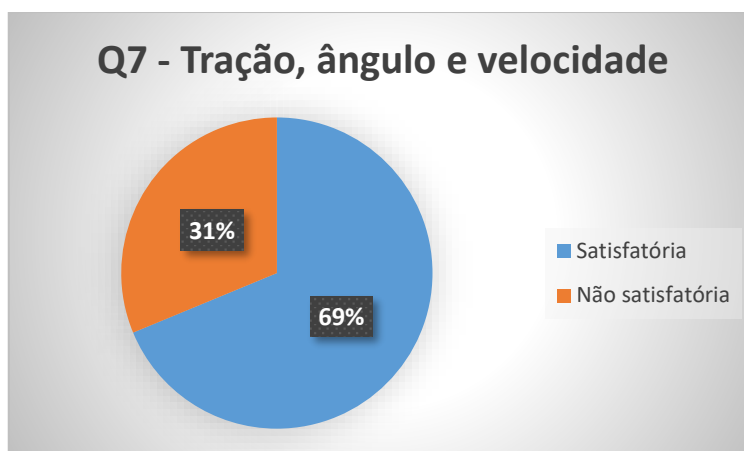
**Figura 7.27** – Resposta da questão 06 da Atividade 4.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 07) Deduza uma relação entre a força tensora na corda, o ângulo de inclinação do fio e a velocidade de rotação do corpo.

**Figura 7.28** – Resposta da questão 07 da Atividade 4.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 08) O que acontece com o pêndulo, quando a velocidade de rotação é aumentada? Verifique isso com a relação deduzida na questão anterior.

---



---



---



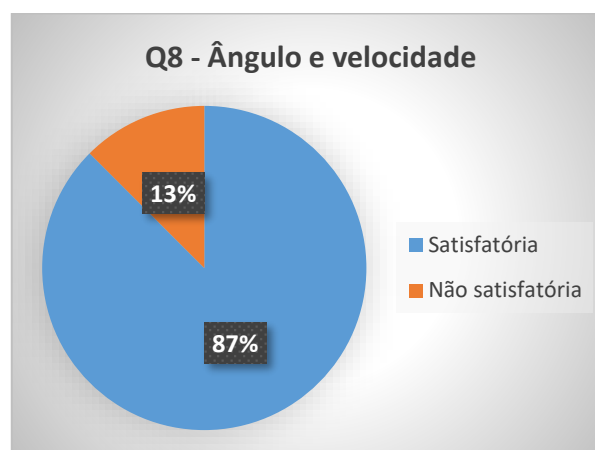
---



---



---

**Figura 7.29** – Resposta da questão 08 da Atividade 4.

Fonte: elaborada pelo autor.

Analisar as forças envolvidas, entender o conceito de resultante centrípeta e a respectiva aceleração produzida no movimento não é uma etapa simples para os estudantes. Quando se fala em aceleração, os estudantes têm cristalizada a ideia de que aceleração implica somente em alteração do valor da velocidade. O conceito de aceleração para a mudança direcional não é tão imediato para eles. Assim, essa etapa da atividade necessitou de algumas intervenções por parte do professor, com frequentes idas ao quadro para auxiliar os estudantes nas análises.

Não obstante as dificuldades, pode-se perceber bom interesse dos estudantes na discussão do vídeo e a rápida ligação da dança apresentada com dispositivos existentes nos parques de diversões, por exemplo o “chapéu mexicano”, além de outros similares.

Na questão de n.º 07, que exigiu a manipulação matemática de algumas equações, os estudantes apresentaram mais dificuldades. Assim, a indicação dos “caminhos” pelo professor se fez necessário para alguns grupos, com intervenções no quadro em alguns momentos.

## 7.5 ATIVIDADE 5: ENERGIA MECÂNICA

Essa quinta atividade também foi aplicada nas três turmas da escola no início do quarto bimestre letivo, conforme as orientações estabelecidas no tópico correspondente do capítulo anterior.

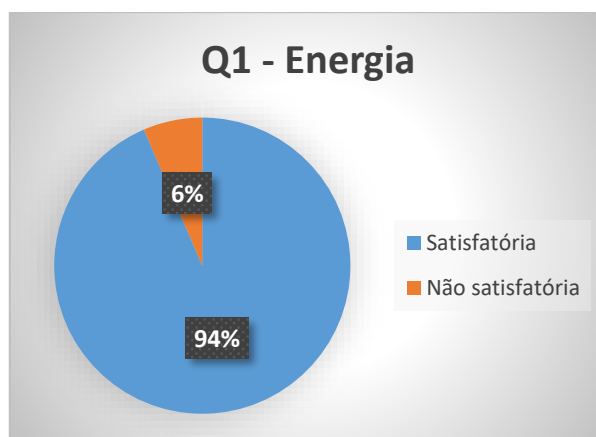
Antes da realização da atividade, já haviam sido trabalhados os conceitos de trabalho e energia mecânica em suas formas tradicionais: cinética, potencial gravitacional e elástica, bem como a questão da conservação e da dissipação da energia.

O mote para a discussão foi outro vídeo de dança contemporânea do grupo de dança dirigido pelo coreógrafo, dançarino e artista francês Yoann Bourgeois - *The Mechanics of History, at the Panthéon*, performance realizada no Panteão, Paris.

As Figuras 7.30 a 7.38 a seguir apresentam os resultados comparativos referentes às nove questões propostas. Antes de cada figura está reproduzido o enunciado da questão correspondente.

Questão 01) **ENERGIA** é uma grandeza \_\_\_\_\_ (escalar / vetorial) direta ou indiretamente relacionada com movimento.

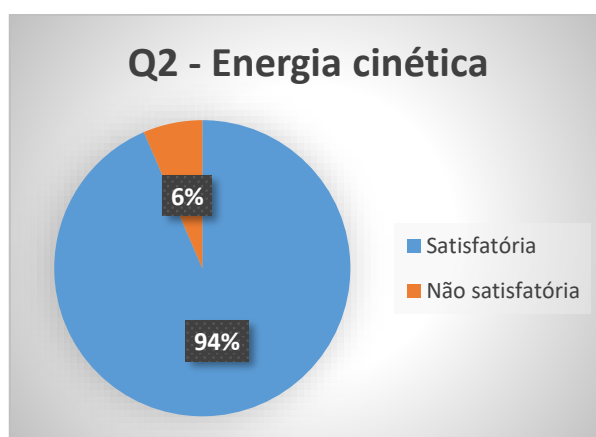
**Figura 7.30** – Resposta da questão 01 da Atividade 5.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 02) A **energia cinética** de um corpo está relacionada essencialmente com: \_\_\_\_\_

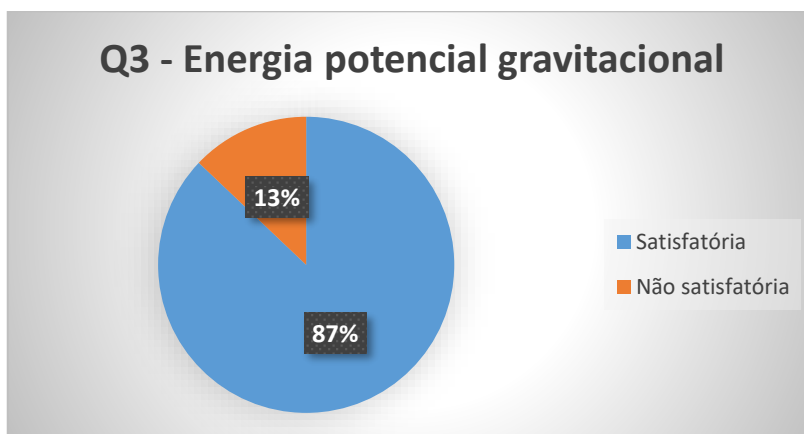
**Figura 7.31** – Resposta da questão 02 da Atividade 5.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 03) A **energia potencial gravitacional** de um corpo está relacionada essencialmente com: \_\_\_\_\_

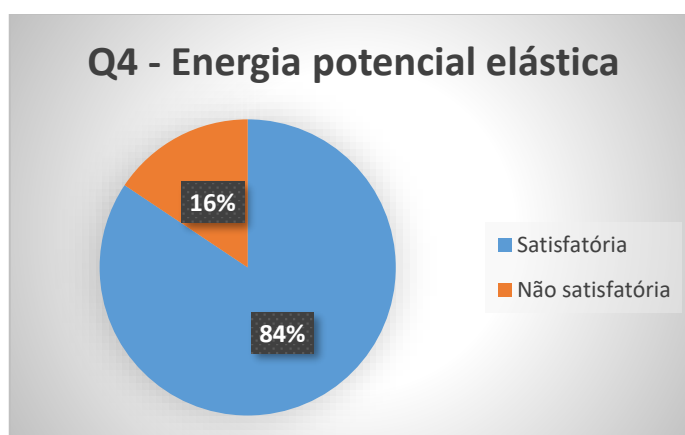
**Figura 7.32** – Resposta da questão 03 da Atividade 5.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 04) A **energia potencial elástica** de um sistema massa-mola está relacionada essencialmente com: \_\_\_\_\_

**Figura 7.33** – Resposta da questão 04 da Atividade 5.

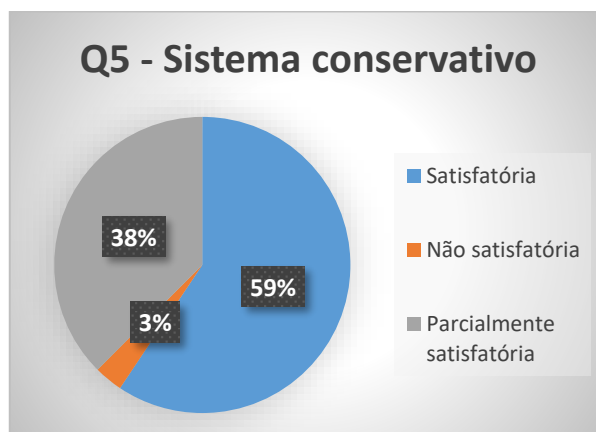


Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 05) Em um sistema mecânico dito conservativo, um ganho de **energia potencial** implicará em uma \_\_\_\_\_ equivalente de **energia** \_\_\_\_\_. Desse modo a \_\_\_\_\_ **mecânica** será \_\_\_\_\_.



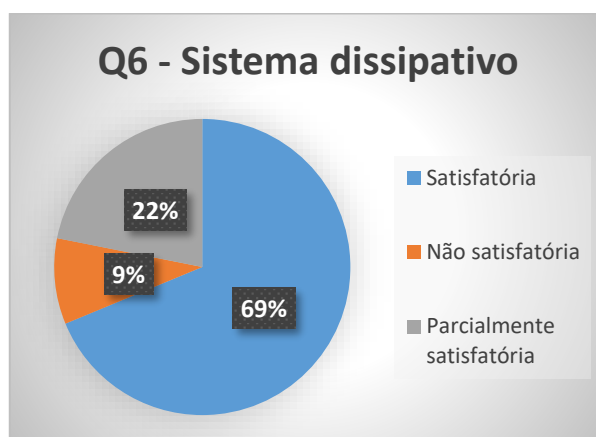
Figura 7.34 – Resposta da questão 05 da Atividade 5.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 06) Por outro lado, em um sistema mecânico em que há forças \_\_\_\_\_, uma perda de **energia potencial**, por exemplo, não implicará em um \_\_\_\_\_ equivalente de **energia** \_\_\_\_\_. Desse modo a **energia** \_\_\_\_\_ do sistema não será \_\_\_\_\_.

Figura 7.35 – Resposta da questão 06 da Atividade 5.

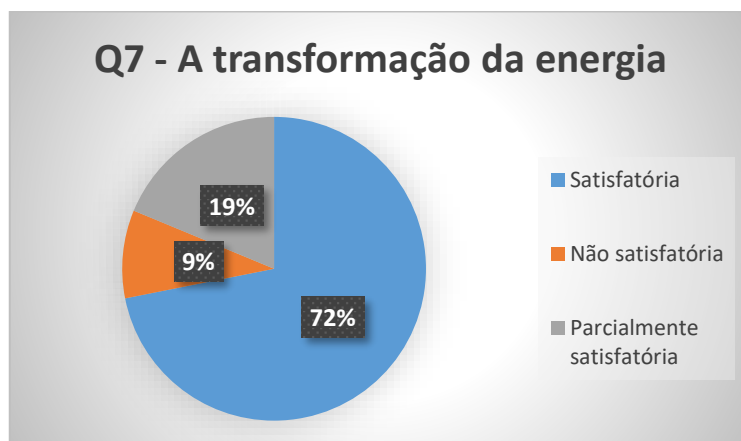


Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 07) No vídeo, os bailarinos caem de um certo degrau da escada girante sobre uma cama elástica e depois voltam à escada. Nesse trajeto de ida e volta, como é a sequência de conversão de energia? Preencha os espaços em branco com os termos apropriados.

Na queda do bailarino, a energia \_\_\_\_\_ por ele adquirida é convertida em \_\_\_\_\_, que depois é convertida em \_\_\_\_\_. Depois disso, na subida, a energia \_\_\_\_\_ adquirida pelo bailarino é convertida em \_\_\_\_\_, que depois é convertida em \_\_\_\_\_ novamente.

**Figura 7.36** – Resposta da questão 07 da Atividade 5.

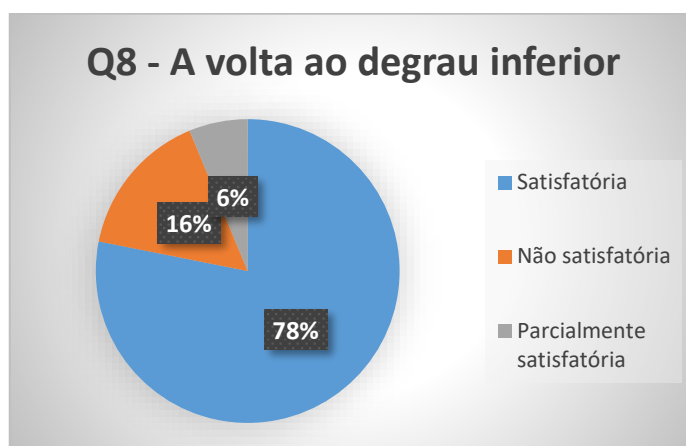


Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 08) Vocês observaram que na queda os bailarinos caem de um degrau e voltam, geralmente, a um degrau mais baixo. Qual a explicação para isso?

Expliquem \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

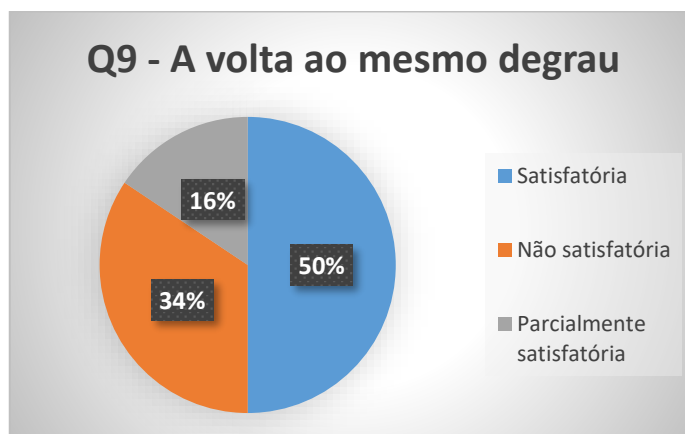
**Figura 7.37** – Resposta da questão 08 da Atividade 5.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 09) No entanto, às vezes, eles caem e retornam ao mesmo degrau. Há, inclusive, alguns momentos em que um dos bailarinos desce e, em seguida, sobe pela parede correspondente ao degrau mais alto. E agora, também levando em conta a resposta da questão anterior, como isso é possível?

Expliquem \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Figura 7.38** – Resposta da questão 09 da Atividade 5.

Fonte: elaborada pelo autor.

A atividade não ofereceu maiores dificuldades para os estudantes, ao contrário, pode-se perceber que, além de apreciarem a performance artística apresentada, a discussão sobre a questão das energias envolvidas e a ideia de conservação ou dissipação pareceu-lhes de fácil compreensão. Analisando as respostas apresentadas pelos estudantes, de um modo geral os resultados considerados “satisfatórios” apresentaram bons percentuais.

Analisando os resultados para as questões de números 05 e 06, cujos índices para respostas consideradas “satisfatórias” ficaram um pouco abaixo das demais, percebeu-se pelas respostas que as redações propostas originalmente para as duas perguntas citadas geraram um pouco de dúvidas nos estudantes, pois possibilitavam duplas interpretações. Assim, as referidas questões já tiveram seus enunciados alterados com as novas redações. As redações antigas eram as seguintes:

Questão 05 – original – com as **respostas esperadas**) Em um sistema mecânico dito conservativo, um ganho de **energia potencial** implicará em uma perda equivalente de **energia** cinética. Desse modo a energia mecânica será conservada.

Questão 05 – original – com **respostas de alguns estudantes**) Em um sistema mecânico dito conservativo, um ganho de **energia potencial** implicará em uma perda equivalente de **energia** cinética. Desse modo a energia cinética será reduzida.

Questão 06 – original – com as **respostas esperadas**) Por outro lado, em um sistema mecânico em que há forças dissipativas, uma perda de **energia** potencial, por exemplo, não implicará em um ganho equivalente de **energia** cinética. Desse modo a **energia mecânica** do sistema não será conservada.

Questão 06 original – com **respostas de alguns estudantes**) Por outro lado, em um sistema mecânico em que há forças dissipativas, uma perda de **energia** potencial, por exemplo, não implicará em um ganho equivalente de **energia** mecânica. Desse modo a **energia** mecânica do sistema não será aumentada.

A questão de número 09 também apresentou um percentual de “não satisfatória” um pouco mais elevado em relação às demais. Nessa questão, a dificuldade para os estudantes foi perceber o “impulso” que o bailarino aplica à parede. Percebeu-se que, para eles, é muito sutil o “empurrão” que o bailarino aplica à parede, algumas vezes, para assim garantir uma energia cinética no início da queda, possibilitando o retorno ao mesmo degrau, apesar da dissipação de energia no processo.

## 7.6 ATIVIDADE 6: EQUILÍBRIO DE CORPO RÍGIDO

Essa sexta atividade, composta de duas partes, também foi aplicada nas três turmas da escola já quase no final do quarto bimestre letivo, conforme as orientações estabelecidas no tópico correspondente do capítulo anterior.

Antes da primeira parte da atividade, apresentou-se o conceito de torque e a necessidade dessa ferramenta para análise do equilíbrio de corpos rígidos e extensos.

Depois disso, foi apresentado o vídeo - *Tentative Approaches to a Point of Suspension* – correspondente a uma instalação do casal de bailarinos Yoann Bourgeois e Marie Bourgeois, no Taikoo Place, Hong Kong.

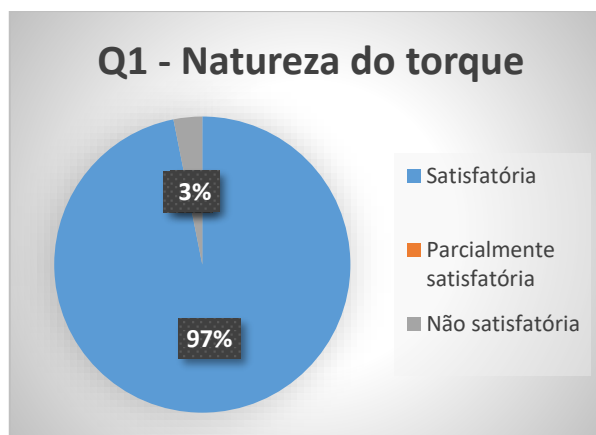
Após a apresentação do vídeo, a atividade foi completada com um conjunto de questões sobre o tema torque e condições de equilíbrio de um corpo rígido.

Com exceção da questão de número 8, as demais foram respondidas com bom percentual de retornos satisfatórios. No caso da questão de número 8, percebeu-se que boa parte dos estudantes pensou na resultante nula, por tratar-se de uma situação de equilíbrio, e não na força sobre o eixo. Assim, nessa aplicação, ficou evidente a necessidade de complementação do texto, o que já foi feito no PE apresentado no Apêndice A.

As Figuras 7.39 a 7.46 a seguir apresentam os resultados comparativos referentes às oito questões propostas. Antes de cada figura está reproduzido o enunciado da questão correspondente.

Questão 01) **TORQUE** é uma grandeza \_\_\_\_\_ (escalar / vetorial) que mede a eficácia da força em produzir rotação.

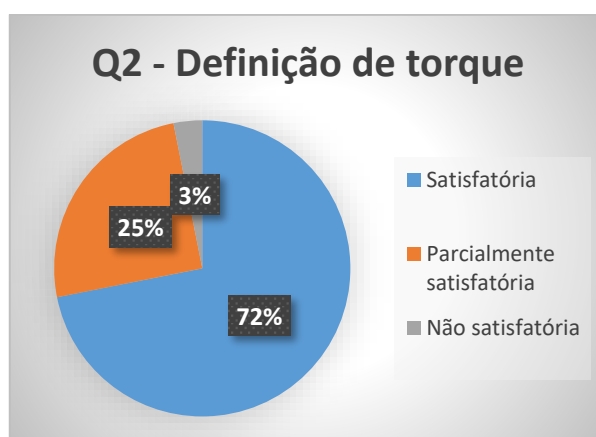
**Figura 7.39** – Resposta da questão 01 da Atividade 6.



Fonte: elaborada pelo autor.

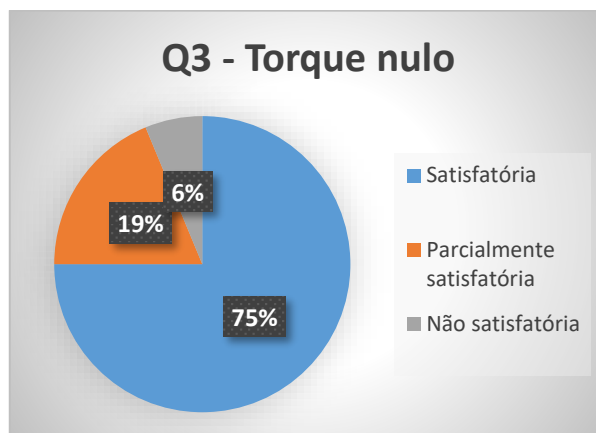
Questão 02) O **torque** de uma força depende de sua \_\_\_\_\_ e também da \_\_\_\_\_ de sua linha de ação em relação ao eixo.

**Figura 7.40** – Resposta da questão 02 da Atividade 6.



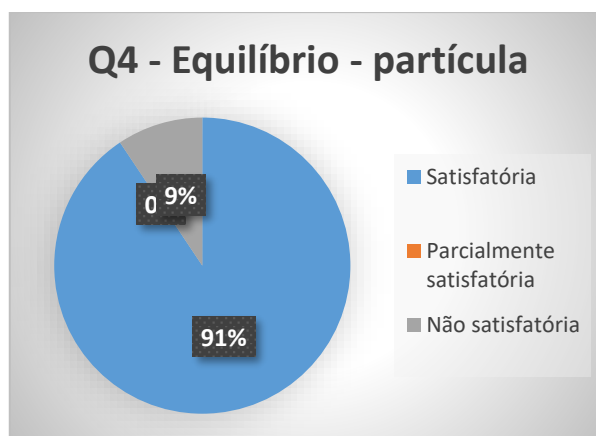
Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 03) Força cuja direção passa sobre o **eixo** apresenta torque \_\_\_\_\_, portanto sua eficácia rotacional é \_\_\_\_\_.

**Figura 7.41** – Resposta da questão 03 da Atividade 6.

Fonte: elaborada pelo autor.

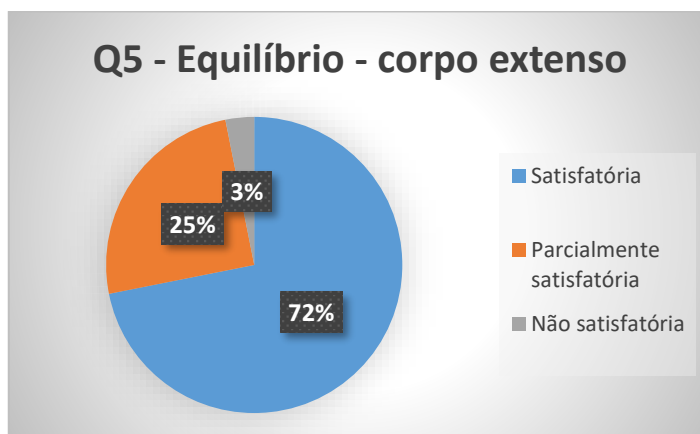
Questão 04) Para que uma **partícula** permaneça em equilíbrio é necessário que a soma \_\_\_\_\_ aplicadas seja nula.

**Figura 7.42** – Resposta da questão 04 da Atividade 6.

Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 05) Já para um **corpo rígido** permanecer em equilíbrio se faz necessário que a soma das \_\_\_\_\_ nele aplicadas seja nula e também que a soma dos \_\_\_\_\_ em relação a um ponto do corpo também seja nula.

**Figura 7.43** – Resposta da questão 05 da Atividade 6.



Fonte: elaborada pelo autor.

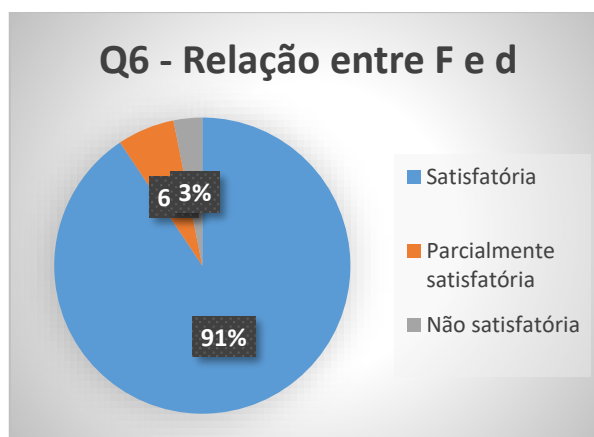
Questão 06) No vídeo, os bailarinos buscam equilibrar-se sobre uma plataforma. Aparentemente, o bailarino tem mais massa do que a bailarina. Assim, qual a relação entre as distâncias de um e de outro em relação ao centro da plataforma, onde está a mesa, para que eles consigam manter-se em equilíbrio? Expliquem: \_\_\_\_\_

---



---

**Figura 7.44** – Resposta da questão 06 da Atividade 6.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 07) E se os bailarinos tivessem massas iguais, como vocês responderiam à questão anterior? Expliquem: \_\_\_\_\_

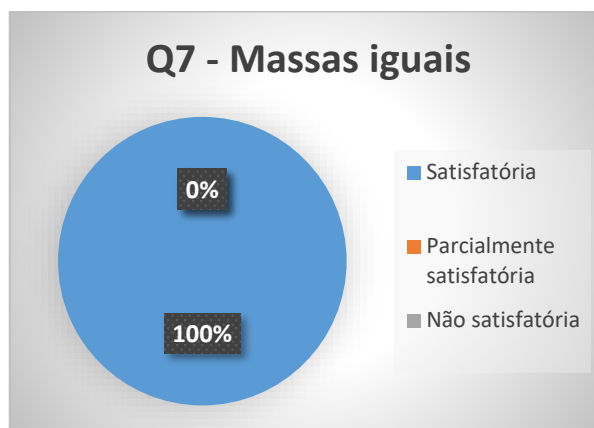
---



---



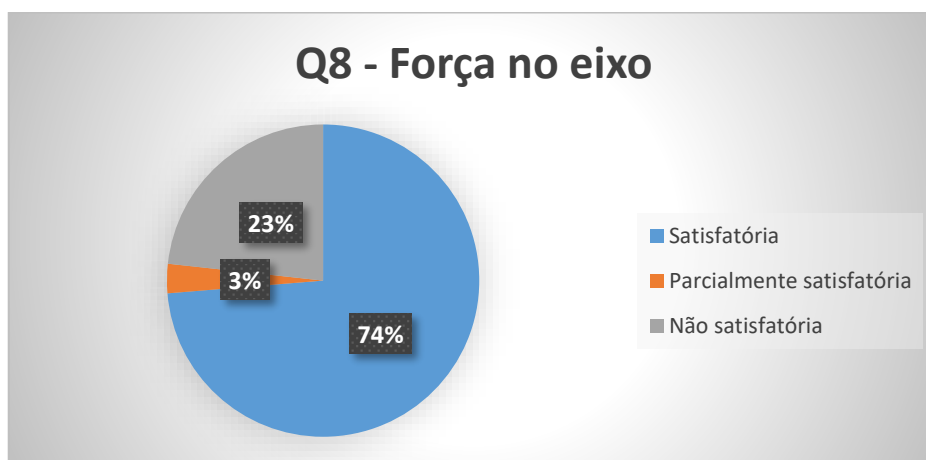
---

**Figura 7.45** – Resposta da questão 07 da Atividade 6.

Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 08) Seguramente há um eixo central sob a mesa para também equilibrar a plataforma. Uma vez atingido o equilíbrio, qual será a intensidade dessa força aplicada no centro da mesa? Expliquem: \_\_\_\_\_

---

**Figura 7.46** – Resposta da questão 08 da Atividade 6.

Fonte: elaborada pelo autor.

As respostas das questões mostraram bons resultados em termos de entendimento dos conceitos. Na questão de número 02 a dificuldade para ter sido no entendimento de que a mudança de direção da força altera a “distância” de sua linha de ação em relação ao eixo (o braço da força). Na de número 05, foi necessário discutir um pouco mais a questão da condição necessário para o equilíbrio rotacional; isso não é tão simples para os estudantes nessa etapa.

Depois de respondidas as questões propostas, foi realizada a segunda parte da atividade. Apresentou-se um segundo vídeo - *Tango 203S with Enrosque and Lapiz to the Right* – no qual



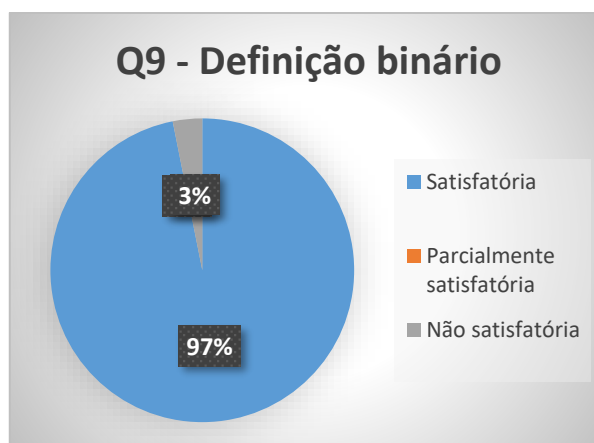
é apresentado um movimento do tango argentino – denominado lápis - pelos bailarinos Emma Bogren e Richard Cepeda, na *Los Angeles Tango Academy*.

Após a apresentação do vídeo, mais uma vez foi oferecido um texto com um conjunto de seis perguntas relativas ao tema torque e binário.

As Figuras 7.47 a 7.52 a seguir apresentam os resultados comparativos referentes às seis questões propostas. Antes de cada figura está reproduzido o enunciado da questão correspondente.

Questão 09) **BINÁRIO** é a denominação que se utiliza para designar um conjunto de \_\_\_\_\_ forças de intensidades \_\_\_\_\_, porém dirigidas em \_\_\_\_\_ opostos.

**Figura 7.47** – Resposta da questão 09 da Atividade 6.



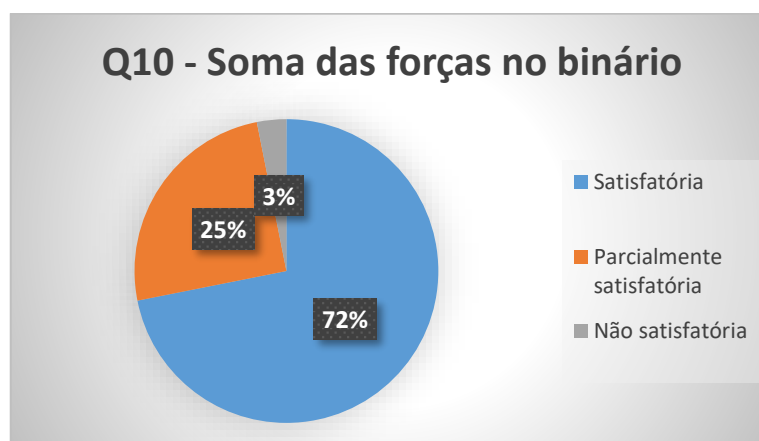
Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 10) A soma vetorial das forças de um binário é nula?

SIM

NÃO

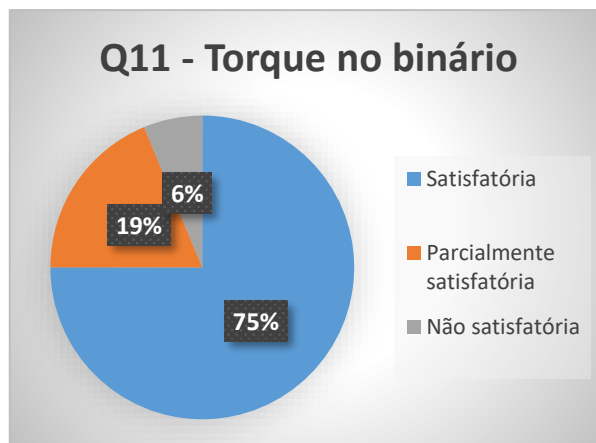
**Figura 7.48** – Resposta da questão 10 da Atividade 6.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 11) O **torque** de um binário quando escrito escalarmente é calculado por \_\_\_\_\_, onde “d” é distância entre as linhas de ação das duas forças.

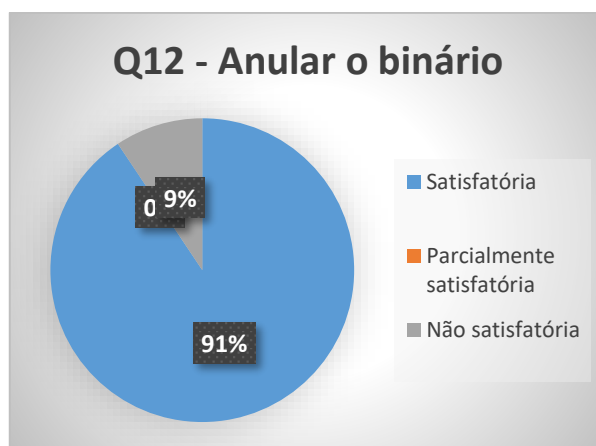
**Figura 7.49** – Resposta da questão 11 da Atividade 6.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 12) Para anular o efeito rotacional de um binário faz-se necessário aplicar um segundo \_\_\_\_\_ cujo torque seja contrário ao primeiro.

**Figura 7.50** – Resposta da questão 12 da Atividade 6.



Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 13) Expliquem esse aumento da dificuldade com base nas forças aplicadas no pé e no binário correspondente.

---



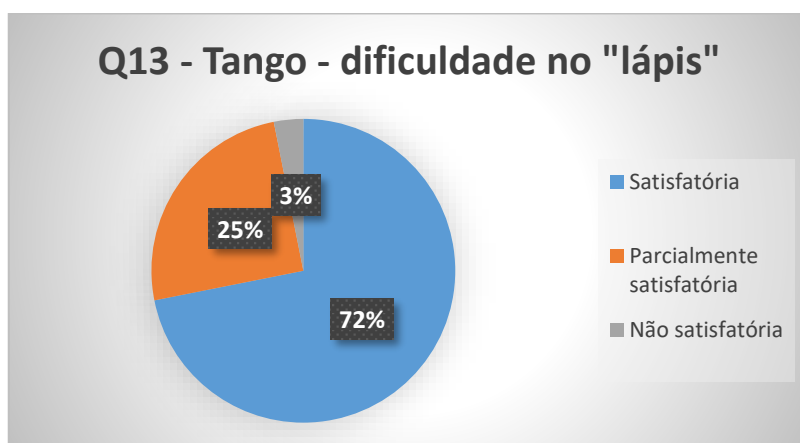
---



---

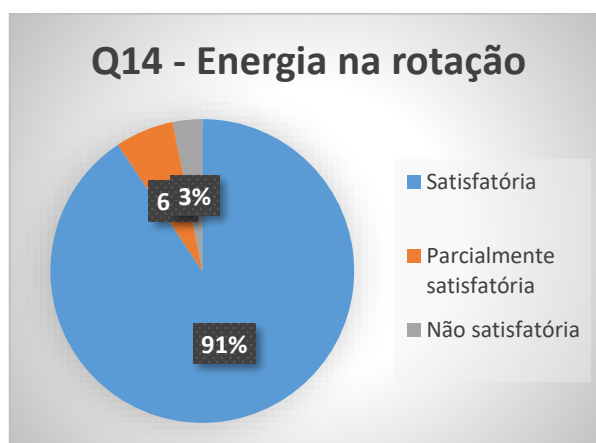


---

**Figura 7.51** – Resposta da questão 13 da Atividade 6.

Fonte: elaborada pelo autor.

Questão 14) No vídeo, também pode-se perceber que para realizar o “lápis” o cavalheiro faz antes um movimento de dissociação entre o tronco e o quadril, como se fosse o caso de uma mola helicoidal que sofre torção. Nesse caso, quando o bailarino executa o giro, a energia de movimento rotacional ou energia \_\_\_\_\_ por ele adquirida é decorrente da energia \_\_\_\_\_ elástica armazenada por conta dessa torção.

**Figura 7.52** – Resposta da questão 14 da Atividade 6.

Fonte: elaborada pelo autor.

As respostas das questões mostraram resultados bastante satisfatórios. Na questão de número 2, mais uma vez percebeu-se que o aumento nos percentuais da respostas “não satisfatória” se deu por duplicidade de interpretação da pergunta. O enunciado agora apresentados no Apêndice A já corresponde ao que foi reescrito. Na questão de número 5, os

estudantes apresentaram uma dificuldade na compreensão que é um tanto comum: achar que a intensidade da força de atrito aumenta com a ampliação da área de contato.

## 7.7 FECHAMENTO DAS ATIVIDADES

O fechamento das atividades do ano foi realizado com uma roda de conversa aberta, com cada uma das turmas em separado, para que os estudantes pudessem assim expressar livremente suas considerações, principalmente sobre a utilização da arte como mote para discussão e entendimento de conceitos básicos da Mecânica e as leis a eles associados.

Com a roda de conversa, pretendeu-se também avaliar a adequação do uso da dança como tema motivador para o ensino de Física.

Como a participação no evento foi livre, e levando em conta que os estudantes já estavam no período de recuperação final das disciplinas do curso, estiveram presentes na roda de conversa 41% do total de estudantes das três turmas envolvidas.

Para a maioria dos participantes, os comentários foram feitos verbalmente por eles e anotados pelo autor. Alguns dos estudantes preferiram escrever seus comentários e entregá-los ao professor.

Também foi solicitado aos estudantes participantes que explicitassem se pretendiam ou não seguir seus estudos no ensino superior e, em caso positivo, em quais carreiras estavam pensando no momento. Essa questão foi colocada propositadamente para avaliar se a aceitação da proposta de uso da dança no ensino de Física foi mais significativa para estudantes que pretendem seguir em áreas de artes, humanidades, por exemplo, e menos significativas para os das carreiras de exatas e biológicas.

Para subsidiar a roda de conversa, foram colocadas como referência essas duas questões aos estudantes participantes:

01) Se hoje você tivesse que escolher um curso superior (faculdade) para fazer, qual curso você escolheria? \_\_\_\_\_

02) Ao longo deste ano de 2023, procuramos apresentar a Física básica estabelecendo um diálogo com a Arte, a dança em particular. Qual a sua opinião sobre o uso desse recurso? Você gostou ou não gostou? Você acha que os vídeos e/ou as imagens facilitaram o entendimento dos conceitos físicos? Para você, eles acrescentaram algo em termos culturais? Fique à vontade para escrever o que quiser, sejam críticas positivas ou negativas. Sua resposta não vale nota nem interfere nas notas das avaliações.

A seguir estão as considerações dos estudantes, que foram identificados apenas por letras de seus nomes. À frente das letras estão as pretensões de cursos declaradas pelos estudantes por ocasião da roda de conversa.

Para facilitar a análise, as respostas foram agrupadas em áreas do conhecimento, tendo por base a classificação estabelecida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), quais sejam: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Biológicas, Engenharia/Tecnologia, Ciências da Saúde, Ciências Agrárias, Ciências Sociais, Ciências Humanas, Linguística, Letras e Artes. Esse agrupamento foi realizado para facilitar a seguinte análise: se as áreas de interesse inicial dos estudantes indicaram alguma influência na maior ou menor aceitação das atividades.

a) Área de Ciências Exatas e da Terra e Área de Engenharia/Tecnologia:

Estudante BCG – Engenharia da Computação:

*O uso desse recurso foi bem criativo e interessante, principalmente para quem tem facilidade de aprender com o visual. Eu, particularmente, sou distraída e não consigo pegar o raciocínio, mas os vídeos me acrescentaram muito culturalmente. O método de passar os vídeos em sala de aula foi muito bom, obrigado.*

Estudante CMFS – Análise e Desenvolvimento de Sistemas:

*Em minha opinião, achei a ideia boa. Já que isso acaba facilitando para que as pessoas possam entender melhor sobre o assunto.*

Estudante DAFM – Engenharia Mecatrônica:

*Os vídeos me ajudaram a entender melhor a física na prática.*

Estudante EBF – Matemática:

*Eu gostei. Os vídeos facilitaram, pois conseguimos enxergar e compreender melhor aquilo que o professor explica. Fica mais fácil de entender vendo a prática.*

Estudante EG – Engenharia:

*Muito bom. Eu gostei porque ampliou nossa mente sobre outras culturas. Os vídeos deixam mais fácil entender a Física no cotidiano. Os vídeos acrescentaram em termos culturais. Eu gostei da forma de utilização dos vídeos.*

Estudante EJLN – Engenharia de Computação:

*Gostei do método de aprendizagem. Vi a dança de outra forma. Agora, não é só a dança que vejo, tem outras coisas juntas.*

**Estudante FTPI – Engenharia Mecatrônica:**

*O uso da dança para a conexão com a Física foi muito interessante. Gostei dos vídeos e achei eles bons para facilitar o conhecimento dos conceitos, bem como sobre as diversas culturas. Gostei muito de conhecer novas culturas e acredito que, somadas com o ensino da Física, são interessantes e mostram como todas as matérias se relacionam em algum ponto.*

**Estudante GBO – Engenharia Automobilística:**

*Eu não sou uma pessoa que consegue pensar muito nessas questões. Eu acho que atiza um interesse cultural, mas não mudou muita coisa para mim. Me ajudou no entendimento da matéria, pois é algo atraente e é a aplicação da matéria ensinada.*

**Estudante GK – Engenharia Aeronáutica:**

*Achei legal associar Física e Arte. Dá pra ver o fenômeno na prática, ver o que acontece. O vídeo da dança dos indígenas Totonaca foi legal porque pudemos ver concretamente como analisar um movimento circular.*

**Estudante JPBA – Tecnologia da Informação:**

*Na verdade, é uma forma de apresentar a Física de um jeito mais descontraído. Gostei. A dança faz parte da cultura e trazer e introduzir esse assunto na Física acrescenta sim culturalmente.*

**Estudante JPDLB – Informática:**

*Achei algo interessante, pois mostra que a Física pode ser usada no dia a dia. Sim, acrescentam culturalmente, pois além de conhecer a Física, nos mostram elas aplicadas em danças em diferentes culturas.*

**Estudante JVBC – Engenharia:**

*Acho que facilitou o entendimento, tornando-o até mais divertido.*

**Estudante KIM – Robótica / Jogos Eletrônicos**

*Achei interessantes os vídeos. É bom quando as apresentações são feitas antes, sem a gente saber os conceitos envolvidos.*

**Estudante MBO – Engenharia Elétrica ou Astrofísica:**

*Os vídeos ajudam a entender o assunto. Achei bem interessante, principalmente a dança dos Totonaca. Acho que eu nunca ia conhecer essas danças e culturas.*

**Estudante MLM – Engenharia:**

*Achei muito bom, pois retrata a Física de forma muito descontraída. Gostei. Acho que facilitou o entendimento para mim. Afinal também entendemos melhor outras culturas.*

Estudante MSM – Engenharia Aeronáutica:

*Gostei de ver como juntar a Física com a arte. Achei interessante ver os temas de Física por trás da dança. Fica algo real, não é só teórico, só Matemática.*

Estudante PECR – Engenharia Espacial:

*Achei bem legal e interativo. Os vídeos facilitaram o ensino, acrescentaram novos termos, acrescentando novos elementos culturais.*

Estudante PECR – Engenharia:

*Achei interessante a dança folclórica. Em física as pessoas pensam só em cálculo. Ficou mais fácil de entender.*

Estudante VCL – Análise e Desenvolvimento de Sistemas:

*Quanto ao uso desse recurso, considero útil e válido, na verdade até bem interessante. Particularmente, gostei bastante desse modo de aprender. Penso que facilitou e muito o entendimento dos conceitos físicos e acrescentou algo em termos culturais.*

Estudante VLO – Engenharia:

*Gostei dos vídeos. Ajuda para lembrar os conceitos na hora da prova. A aula é mais interativa e permite conhecer outras culturas.*

Estudante YGM – Matemática:

*A aula fica mais leve e gente sai da rotina. Ajuda na compreensão dos conceitos.*

Estudante WGK – Análise e Desenvolvimento de Sistemas

*Com os vídeos você consegue enxergar melhor. São situações reais. Se fosse só usando matemática seria mais difícil. Às vezes eu estava no ônibus e ficava pensando nas ideias de movimento, de inércia.*

## b) Área de Ciências Biológicas e Área de Ciências da Saúde

Estudante ALSM – Educação Física:

*A verdade é que eu gostei desse método para nos apresentar a Física, pois esse método prende um pouco mais a nossa atenção. A Física tende a ser um pouco maçante, já que envolve muitos cálculos. Este método facilita nosso entendimento.*

Estudante APSS – Medicina:

*Achei as aulas boas, mas com uma didática mais ilustrativa entenderíamos melhor, como fizemos algumas vezes no laboratório.*

Estudante EBS – Medicina:

*Achei bem legal, pois a arte é um ponto de escape para algumas pessoas e ter essa oportunidade em algo que você possa gostar de praticar é bem legal.*

Estudante LJJ – Biologia Marinha:

*O uso das Artes realmente facilitou o entendimento e a compreensão da matéria, assim como a integração com as novas culturas. São diversos possíveis novos interesses para os alunos, tornando o aprendizado mais interessante.*

Estudante OKA – Odontologia

*Legal os vídeos, pois conectam Física e Arte. Seria mais interessante se as apresentações fossem ao vivo.*

Estudante PTAO – Biomedicina

*Ajuda a ver os conceitos na prática. A gente presta mais atenção na aula quando tem algo diferente.*

c) Área de Ciências Agrárias

Estudante ACG – Medicina Veterinária:

*Eu gostei, ficou mais fácil de visualizar e facilitou o entendimento.*

Estudante PHBO – Engenharia Florestal:

*Achei interessante relacionar Física com Arte. Os movimentos têm uma explicação física. Fica mais fácil entender assim do que só usar cálculo matemático.*

d) Área de Ciências Sociais Aplicadas e Área de Ciências Humanas

Estudante ACPG – Comunicação:

*Usar imagens e demonstrações práticas melhorou muito a forma de entender as fórmulas. Mesmo assim, em questão cultural (pelo menos para mim) não mudou nada. Às vezes, decorar fórmulas é muito cansativo, mas enxergando onde elas se aplicam na prática fica mais fácil e eu diria até mais divertido entendê-las.*

Estudante BBMF – História

*Com os vídeos você consegue absorver mais facilmente os conteúdos. E a gente consegue ver as possibilidades de uso da Física. A Física é mais maçante se for só Matemática. Houve uma boa carga cultural. Às vezes, as atividades com preenchimento de lacunas deixavam algumas dúvidas sobre o que colocar. Talvez fosse melhor colocar perguntas para responder na forma de teste.*



## Estudante EEPL – Direito

*Não sou bom em exatas. Achei que é uma forma diferente de aula. Facilita porque a gente vê um exemplo concreto.*

## Estudante JSC – Psicologia

*Foi legal a gente ver como relacionar a dança com a Física. A matéria ficou mais interessante.*

## Estudante JVMA – História:

*Achei muito boa a integração da Arte com a Física, duas áreas supostamente distantes, mas que quando juntas criam um conceito espetacular. Com a explicação do professor, podemos ver na prática os conceitos físicos sendo aplicados, facilitando o entendimento.*

## Estudante KKMR – Pedagogia:

*Eu acho superimportante, pois fica mais dinâmica a aula e eu sou apaixonada por dança. Então, para mim, me ajudou a entender mais. Eu amei.*

## Estudante KSA – Pedagogia:

*Eu acho que a Física em si já é muito complexa, mas foi interessante misturar com a Arte e usar a dança em nossos estudos. Para mim, não facilitou para estudar a matéria.*

## Estudante LVL – Psicologia:

*Os vídeos ajudavam um pouco sim, mas em geral tive muita dificuldade na matéria.*

## Estudante MHPF – Relações Internacionais:

*Por ser uma matéria difícil de entender, no meu entendimento a versatilidade da didática, através de um processo qualificado, ajuda na ludicidade e, assim, melhora a absorção da matéria.*

## Estudante RSM – Psicologia:

*Gostei bastante do modo que o professor nos apresentou a Física, deixando as aulas bem mais interessantes. Seriam menos receptivas se fosse só escrever. Acredito que ele está de parabéns e que no ano que vem possa continuar esse trabalho.*

## e) Área de Linguística, Letras e Artes

## Estudante ALCP – Artes Cênicas:

*Eu gostei muito de tudo, principalmente da maneira que o professor conseguiu juntar esses dois assuntos e explicar perfeitamente para nós,*

*alunos. E como tema geral, gostei muito da bailarina na água. Durante a atividade, fiquei pensando se o peso da bailarina diminui ou é anulado.*

Estudante AMC – Letras:

*Não sou da área de exatas. Não consigo enxergar a situação só com as equações. Com os vídeos ficou mais fácil e aula é mais interativa.*

Estudante DRCL – Moda:

*Particularmente, eu gostei. É mais fácil entender Física por meio de vídeos. Às vezes, mesmo com as imagens, ficou um pouco difícil de entender.*

Estudante DSM – Cinema:

*Acho muito interessante o uso de vídeos como esses, pois além de diversificar a cultura, traz uma visão mais prática de como a Física funciona. Apesar de eu não me interessar e nem entender Física, achei os vídeos bem interessantes.*

Estudante GCMC – Artes Visuais:

*A Física é difícil de imaginar. Com a apresentação dos vídeos fica mais fácil.*

Estudante UCO – Dança:

*Eu gostei, pois consegui unir a Arte com a matéria de Física. Os vídeos facilitam os temas, pois com eles temos mais clareza de como as coisas acontecem. Além disso, apresentaram várias culturas.*

f) Área ainda não definida

Estudante ESC – ainda não defini o curso:

*O método de apresentar as aulas com o uso de imagens, danças e vídeos é uma forma de ajudar os alunos, não criando tanta dificuldade no assunto, permitindo mais facilidade para entender.*

Estudante JVPC – ainda não escolhi:

*Eu gostei desse novo estilo de apresentar a Física, mas a Física em si já é muito interessante e linda. Pra mim, faltou um pouco mais de partes práticas da Física; colocando só teoria a torna chata e cansativa.*

Estudante TVOS – ainda não escolhi:

*Achei interessante. É uma dinâmica normalmente não muito utilizada.*

Pode-se perceber pelas respostas que houve uma boa aceitação das atividades por parte dos estudantes, quase todos considerando as atividades interessantes e facilitadoras na compreensão dos conceitos envolvidos. Apenas uma das respostas apontou dificuldades do

estudante para a compreensão das perguntas propostas, sugerindo uma mudança no formato de apresentação das mesmas.

Parece, pelas respostas, que transitar da Arte – uma cultura – para a Física – outra cultura – não se constituiu em problema para os estudantes, ao contrário, esse travessia cultural de fronteiras – como diria Aikenhead – foi suave, sem percalços.

No que diz respeito à boa aceitação das atividades e as preferências dos estudantes pelas futuras carreiras nas diversas áreas de conhecimento, não se percebeu correlação entre os dois temas, ou seja, considerou-se que houve boa aceitação das atividades independentemente das áreas para as quais os estudantes apresentam – nessa etapa de escolaridade – mais inclinação.

## 7.8 COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO DO PRODUTO

A aplicação do PE proposto aconteceu ao longo do ano de 2023 de forma relativamente tranquila, sem grandes acidentes no percurso pedagógico. De um modo geral, os estudantes sentiram-se motivados para as atividades, bem como mostraram-se, de certa forma, surpresos com a abordagem utilizada, uma novidade para eles até então.

Não obstante a facilidade encontrada na aplicação do PE, há que se registrar alguns dos pequenos obstáculos encontrados pelo caminho, mas que foram superados satisfatoriamente.

Uma das dificuldades enfrentadas na implementação do PE refere-se ao número de aulas disponíveis para a disciplina Física 1 nos primeiros anos dos três cursos técnicos nos quais o PE foi aplicado.

As grades curriculares dos três cursos preveem 02 (duas) aulas semanais para a referida disciplina, quantidade essa que se considera insuficiente para o desenvolvimento a contento da Mecânica básica no nível do EM. Esse fato tem provocado a necessidade de opção por alguns assuntos, esses elencados como os mais relevantes, em detrimento de outros considerados menos significativos em relação aos primeiros.

O conteúdo para o ano letivo é relativamente extenso, como assinalado no parágrafo anterior, sendo contemplado com poucas aulas semanais, dentro das quais deve estar prevista uma quantidade mínima de atividades experimentais em laboratório, essas imprescindíveis no ensino de Física. Com relação a esse tema – atividades experimentais, é conveniente assinalar que elas foram ligeiramente reduzidas para que fosse possível a aplicação do PE.

O problema ainda tem outro agravante: a premência dos conteúdos a serem contemplados para atender aos processos avaliativos para ingresso no ensino superior - meta essa abraçada pela grande maioria dos estudantes. Por último, há também a pressão que se faz presente pelo imperativo de abordagem de alguns temas que servem de base para disciplinas técnicas das grades curriculares dos três cursos, em especial os técnicos em Eletroeletrônica e Mecânica.

Assim, percebeu-se que algumas das atividades do PE poderiam ser melhor aproveitadas caso fosse contemplado um tempo maior para aplicação da proposta.

Outra dificuldade que foi detectada e que refletiu na metodologia utilizada refere-se à defasagem dos estudantes em relação a alguns temas fundamentais da matemática básica, temas esses que são importantes para a abordagem do conteúdo desenvolvido na disciplina Física 1: potenciação, radiciação, equações de 1º e 2º grau, sistemas de equações, noções básicas de trigonometria, gráficos de funções, entre outros assuntos da matemática do ensino fundamental.

Paralelamente a isso, também foi observado uma maior dificuldade por parte dos estudantes com leitura e entendimento de textos. A impressão que ficou é que os estudantes não conseguiam se concentrar para leitura de textos um pouco mais extensos.

Pode-se afirmar que esses dois obstáculos apontados se apresentaram de maneira um pouco mais intensa do que era comum em anos anteriores na mesma instituição. Tendo em vista que o ingresso na escola sempre foi muito concorrido, com um dos três cursos sendo, em 2023, o de maior proporção candidato/vaga nas mais de trinta unidades da rede federal correspondente, essas duas últimas dificuldades citadas não eram esperadas para essas três turmas.

Os dois obstáculos acima descritos muito provavelmente são reflexos do período de dois anos correspondentes à pandemia do Covid 19, que obrigou os estudantes a terem suas atividades realizadas de maneira remota, distanciados fisicamente das unidades escolares. Há consenso entre os professores do campus de que esse período de afastamento tenha provocado certas lacunas de aprendizagem que talvez só poderão ser recuperadas a médio prazo.

# Capítulo 8

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

A intenção com esse estudo, conforme dito de início, foi propor o uso da dança – em particular as modalidades aqui apresentadas - como elemento motivador e recurso didático para o ensino de Física, mais especificamente da Mecânica básica. As danças então utilizadas nas atividades propostas não devem ser tomadas como exemplos únicos, pois há inúmeras outras possibilidades, inclusive para abordagem de outros tópicos da Mecânica que aqui não foram contemplados. Algumas outras sugestões estão colocadas no Apêndice B.

O que se pretendeu foi trazer formas de se olhar para a arte da dança, com olhares que permitissem ir - além da apreciação estética - na direção de identificar possibilidades para o ensino de conceitos relacionados à Mecânica básica.

As propostas apresentadas estão longe de esgotar as possibilidades para o ensino da Física. No entanto, são alternativas interessantes e simples para serem trabalhadas, visando à conexão consistente entre ciência e arte com uma perspectiva educacional.

À primeira vista, pode parecer que há um abismo entre a dança e os temas científicos específicos da Mecânica. No entanto, pode-se perceber que, ao contrário, há sim um conjunto grande de temas que se entrelaçam, ou seja, há muitos elementos na intersecção dessas duas culturas humanas – a ciência e a arte – aqui exploradas em seus subgrupos, a Física e a Dança.

Durante a aplicação das atividades contempladas, bem como após a análise de seus resultados, foi possível perceber evidências de que a estratégia de ensino, alicerçada nos referenciais teóricos adotados, mostrou-se eficiente, tendo em vista que os estudantes demonstraram melhor compreensão dos temas trabalhados. Assim, pode-se afirmar que Arte e Ciência, no contexto desse trabalho desenvolvido, se complementaram de maneira bastante satisfatória.

Ainda, pode-se perceber também, pelas respostas às atividades, que a proposta oferecida é capaz de apresentar a disciplina de um modo mais leve e mais atraente, promovendo também a reflexão sobre conceitos científicos a partir de elementos da Arte.

Destaque-se também que a proposta de realização das atividades em grupos permitiu, a partir dessa ação de partilha, a construção do conhecimento pelos estudantes. Acredita-se que o relacionamento interpessoal gerado nas ações coletivas também contribuiu positivamente para a compreensão dos conceitos envolvidos. Nesse contexto, estudantes têm maior liberdade de expressão, e o professor – atuando como mediador – abre espaços para que os estudantes sejam os protagonistas na edificação dos seus saberes.

Outro ponto a ser considerado – e não menos importante em tempos atuais - é que o conjunto das atividades propostas é de baixíssimo custo, exigindo apenas a disponibilidade em sala de aula de um computador com conexão à Internet, Datashow com sistema de som e infraestrutura da escola para a impressão dos roteiros utilizados.

Para finalizar, espera-se que a presente proposta para o ensino de Física, utilizando a Arte para introduzir a Mecânica no EM, venha auxiliar colegas também docentes da disciplina em suas atividades de aula, bem como possa inspirá-los a criarem novas sendas pedagógicas, utilizando outros temas que também auxiliem na aprendizagem dos estudantes, possibilitando a construção de seus conhecimentos de uma maneira mais “leve”, prazerosa e integrada com saberes outros da(s) cultura(s) humana(s).

## 8.1 MOTIVAÇÕES PARA OUTRAS ATIVIDADES

### 8.1.1 Construção de um modelo da “Dança dos Voadores”

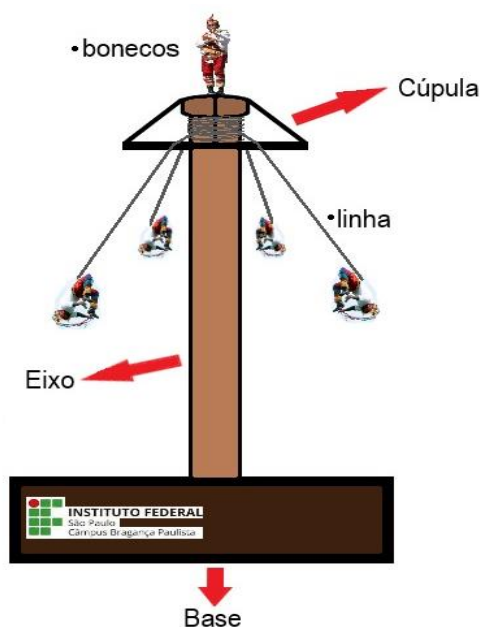
No ano de 2022, na etapa em que o PE estava sendo gestado, foi realizada em forma de testagem uma versão preliminar da Atividade 4 – Dinâmica do Movimento Circular - com um grupo de três estudantes já na fase de conclusão do Técnico em Mecânica. Após a realização da atividade, foi proposto para os estudantes a construção de um modelo em escala reduzida da “Dança dos Voadores”, tema utilizado na referida atividade. O modelo foi apresentado na 12ª Feira de Ciência e Tecnologia realizada anualmente pela instituição.

Convém destacar que esta atividade também poderá ser incorporada ao PE, podendo ser realizada em caráter optativo, dependendo de a escola ou os estudantes terem possibilidade de acesso aos materiais e equipamentos necessários para a confecção do modelo.

Em 2022, a atividade foi realizada no início do segundo semestre e concluída em setembro do mesmo ano. A elaboração foi facilitada tendo em vista a disposição das oficinas de mecânica e eletrônica do campus, bem como a disponibilidade dos materiais necessários.

Segue o desenho do modelo construído pelos estudantes e também a relação dos materiais e seus custos na época (Figura 8.1):

**Figura 8.1** – Modelo “Dança dos Voadores”.



Fonte: autoria própria dos estudantes envolvidos, 2022.

Os materiais e respectivos recursos financeiros utilizados foram os seguintes:

- madeira – MDF – custo: R\$ 75,00;
- PVC  $\frac{3}{4}$  - custo: 18,00;
- Barra de alumínio – custo: R\$ 15,00;
- Rolamentos – custo: R\$ 26,00;
- Motor DC 5 V – custo: R\$ 30,00;
- Arduino – custo: R\$ 40,00;
- Placa de som – custo: R\$ 60,00;
- Outros itens – custo: R\$ 150,00;
- Caixa de som – do próprio campus.

Conforme registrado anteriormente, o grupo de estudantes construiu o modelo, apresentando-o na 12ª Feira de Ciência e Tecnologia, realizada no campus, nos dias 6, 7 e 8 de outubro de 2022. A seguir, na Figura 8.2, a imagem de dois membros do grupo na referida feira.

**Figura 8.2** – Estudantes na Feira de Ciência e Tecnologia.

Fonte: autoria própria, 2022.

### 8.1.2 O aplicativo U4Dance

Já em 2023, outro grupo de três estudantes do Técnico em Informática, este também formado por concluintes do referido curso, apresentou um projeto para a 13ª Feira de Ciência e Tecnologia, agora consistindo de um aplicativo denominado “U4Dance”, com o objetivo de facilitar a aproximação de bailarinos – amadores ou profissionais – das escolas e companhias de dança, tendo em vista a fragilidade do mercado de trabalho para esses trabalhadores.

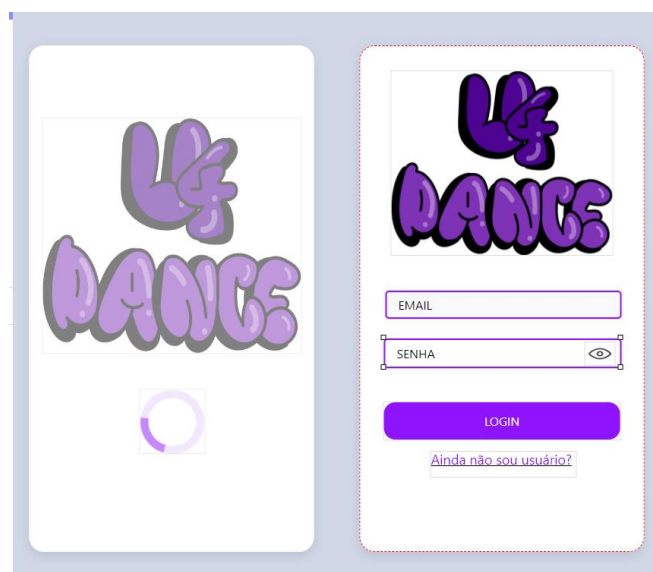
Motivados pela possibilidade de interlocução entre a Física e a Dança, uma vez que parte dos componentes também participavam das aulas de danças de salão oferecidas pelo autor, o aplicativo por eles desenvolvido contemplou um ambiente denominado “Física e Dança”, no qual foi colocado um texto visando à aproximação dessas duas áreas culturais.

A construção do aplicativo pelos estudantes foi motivado por algumas premissas. Primeiramente, a partir de algumas literaturas sobre o tema da empregabilidade na área artística, levaram em conta o fato de que, na atualidade, as atividades na área da dança são frequentemente deixadas em segundo plano em comparação com outras atividades. A escassez de recursos financeiros alocados à dança repercute em orçamentos limitados para instituições, grupos e eventos de dança, resultando em desafios econômicos para os dançarinos, potencialmente inibindo aspirantes talentosos de seguirem uma carreira nesse campo de atuação. Adicionalmente, a ausência de empregos estáveis na área cria certa instabilidade nos profissionais, incentivando a migração de talentos para setores mais seguros.



Assim, os estudantes propuseram o desenvolvimento de um aplicativo para facilitar a conexão entre companhias e escolas de dança e bailarinos, ampliando as possibilidades para esses encontrarem oportunidades profissionais, e ainda promover colaborações artísticas entre dançarinos e instituições. A Figura 8.3 a seguir mostra a tela de login no aplicativo desenvolvido.

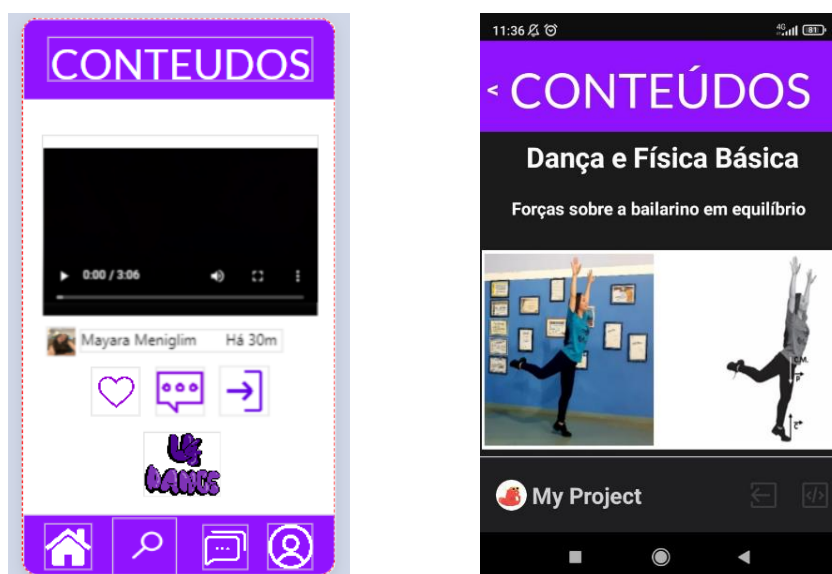
**Figura 8.3** – Tela de login do aplicativo.



Fonte: autoria própria dos estudantes envolvidos, 2023.

Em seguida, na Figura 8.4 a seguir tem-se a tela de conteúdos sobre dança, na qual está o texto de Física e Dança.

**Figura 8.4** – Tela de conteúdos e o texto sobre Física e Dança.



Fonte: autoria própria dos estudantes envolvidos, 2023.

O aplicativo contemplou também outras possibilidades: pequeno histórico de vários gêneros de dança (samba, forró, bolero, zouk, tango, milonga etc.), cadastramento de bailarinos, oferta de vaga em grupos/companhias de dança de escolas, horários de aulas e de cursos nas escolas cadastradas, entre outras informações. Registre-se ainda que o trabalho foi bastante apreciado pelos visitantes da Feira.

Os autores do aplicativo também estão melhorando-o em alguns aspectos para posteriormente oferecerem o produto a algumas escolas/academias da cidade.

## 8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dentro desse mesmo recorte – a Física e a Dança -, como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se continuar com as discussões sobre as grandezas físicas em outras modalidades de dança, bem como explorar outros conceitos físicos aqui não abordados, tais como empuxo, impulso, quantidade de movimento, entre outras possibilidades.

Discussões envolvendo Física e Arte também podem ser bem exploradas com o tema da Música, um terreno muito fértil para o desenvolvimento da Acústica.

O cinema, em especial as películas de ficção científica, ainda podem propiciar boas contribuições para discussões de vários temas da Física básica.

Literatura, pintura e teatro são outros campos que têm intersecções com a Física. Explorá-los pode ser muito interessante, principalmente em atividades interdisciplinares.

# REFERÊNCIAS

---

---

AIKENHEAD, Glen S. Science and Technology Education from different Cultural Perspectives. In: **SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY EDUCATION**, 12º, Batu Ferringghi, Penang, Malasya, July 30-august 4, 2006, p. 1-11.

AIKENHEAD, Glen S. Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se le llame. **Educación Química**, v. 16, n. 2, 2003.

AIKENHEAD, Glen S. Whose Scientific Knowledge? The Colonizer and the Colonized. **Science Education as/for Sociopolitical Action**, p. 151-156, 2002.

AIKENHEAD, Glen S. Renegotiating the Culture of School Science. In: MILLAR, R.; LEACH, J. and OSBORNE, J. **Improving Science Education: Contribution of Reserch**. UK: Open university, 2000, p. 245-264.

AIKENHEAD, Glen S. Science Education: Border Crossing into the Subculture of Science. **Studies in Science Education**, v. 27, n. 1, p. 1-52, 1996.

ALCÂNTARA, Marlon Cesar de; JARDIM, Wagner Tadeu. A utilização da HFC no ensino de física a partir de representações artísticas. In: **III CONFERENCIA LATINOAMERICANA DEL INTERNATIONAL, HISTORY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE TEACHING GROUP IHPST - LA 2014**. Santiago de Chile, 17-19 de noviembre 2014.

ASSUMPÇÃO, Andréa Cristhina Rufino. O Balé Clássico e a Dança Contemporânea na Formação Humana: caminhos para a emancipação. **Pensar a Prática**, n. 6, p. 1-19, Jul/Jun, 2002-2203.

BELISÁRIO, Roberto. A relação íntima entre física, cultura e estilo de vida. **ComCiência**, n. 120, Campinas, 2010.

BERNSTEIN, Jeremy. **As Ideias de Einstein**. São Paulo: Cultrix, 1973.

BOCHNIAK, Regina. **Questionar o conhecimento: interdisciplinaridade na escola**. 2ª Ed. São Paulo: Loyola, 1998.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2017. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC\\_EnsinoMedio\\_embaixa\\_site\\_110518.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_110518.pdf). Acesso em: 06 maio 2023.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio: bases legais**. Brasília: MEC, 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>. Acesso em: 06 maio 2023.

BRONOWSKI, Jacob. **Ciência e Valores Humanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1979.

BRONOWSKI, Jacob. **O Senso comum da Ciência**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1977.

BRYSON, Bill. **Breve história de quase tudo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

CAMPOMORI, Maurício José Laguardia. O que é avançado em cultura. In: BRANDÃO, Carlos Antônio Leite (Org.). **A república dos saberes: arte, ciência, universidade e outras fronteiras**. Belo Horizonte: UFMG, 2008. p. 73-80.

CANEDO, Daniele. Cultura é o quê? – reflexões sobre o conceito de cultura e a atuação dos poderes públicos. In: V ENECUT – **QUINTO ENCONTRO DE ESTUDOS MULTIDISCIPLINARES EM CULTURA**. Salvador, Bahia, 27-99 de maio de 2009.

CARVALHO, Silvia Helena Mariano de. Uma Viagem pela Física e Astronomia Através do Teatro e da Dança. **Física na Escola**, v. 7, n. 1, p. 11-16, 2006.

CAVALLO, Patrícia R. **O balé clássico e a psicomotricidade**: uma nova proposta de ensino da dança. 2006, 117 p. Monografia (Pós-graduação Lato Sensu em Psicomotricidade), Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, 2006.

CAVASIN, Cátia Regina; FISCHER, Julianne. A dança na aprendizagem. **Revista Leonardo Pós**, n. 3, p. 11-20, ago-dez. 2003. Disponível em: <http://www.posuniasselvi.com.br/materias/artigos.htm#rev3>. Acesso em: 17 jul. 2016.

COHEN, I. Bernard. **O nascimento de uma nova física**. São Paulo: Edart, 1967.

CROCHICK, Leonardo. **Educação e Ciência como Arte**: aventuras docentes em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências). 368 f. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

EINSTEIN, Albert. **Como Vejo o Mundo**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981.

EINSTEIN, Albert; INFELD, Leopold. **A Evolução da Física**. Rio de Janeiro: Zahar, 1966.

FAHLBUSCH, Hannelore. **Dança moderna e contemporânea**. Rio de Janeiro: Sprint, 1990.

FARIA, André Longo de; PESSANHA, Márlon. Cultura didática: olhar teórico para compreender a (não) inovação no ensino. **Educação & Realidade**, Porto Alegre, v. 47, e117420, 2022.

FERRAZ, Jossane Formentão Vieira. Dança, teatro e suas relações históricas. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM ARTES DA FACULDADE DE ARTES DO PARANÁ, 7º, 2012, Curitiba. **Anais do 7º Seminário de Pesquisa em Artes da Faculdade de Artes do Paraná**, Curitiba, PR: [s.n.], jun. 2012, p. 291-294.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Miniaurélio**. 6ª ed. Curitiba: Posigraf, 2004.

FERREIRA, Fernando Cesar. Arte: aliada ou instrumento no ensino de Ciências? **Revista Arredia**, Dourados, MS, UFGD, v. 1, n. 1, p. 1-12 jul./dez. 2012.

FERREIRA, Guilherme Fontes Leal. Projéteis com Resistência do Ar Quadrática na Velocidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 3, p. 271-275, set. 2001.

FERREIRA, Nicolau. Newton soube como circulava a seiva nas plantas 200 anos antes dos botânicos. **Público Comunicação Social**. 03 fev. 2015. Disponível em: <https://www.publico.pt/2015/02/03/ciencia/noticia/newton-explicou-a-circulacao-da-seiva-nas-plantas-200-anos-antes-dos-botanicos-1684815>. Acesso em: 04 mar. 2024.

FONSECA, Lucia Maria Batista et al. A Interdisciplinaridade e o Trabalho Docente: uma perspectiva dialógica nos anos iniciais do ensino fundamental. In: **Congresso Nacional de Educação**, XII, Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2015.

FORTUNATO, Raquel; CONFORTIN, Renata; SILVA, Rochele Tondello da. Interdisciplinaridade nas Escolas de Educação Básica: da retórica à efetiva ação pedagógica. **REI – Revista de Educação do IDEAU**, v. 8, n. 17, p. 1-15, jan – jun 2013.

GALILEI, Galileu. **Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano**. Tradução: Pablo Rubén Mariconda. 3.<sup>a</sup>ed. São Paulo: 34, 2011.

GAMA, Eduardo André Rego Moreira da. **Física e Música no Ensino Médio à Distância**. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET, Rio de Janeiro, 2006.

GOMES, Emerson Ferreira. **Astros no rock: uma perspectiva sociocultural no uso da canção na educação em ciências**. 2016. 213 p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

GOMES, Gerson Flores *et al.* A Dança e Cultura sob um “Olhar” de Paulo Freire. **INTERNACIONAL CONFERENCE PAULO FREIRE: The Global Legacy 2nd**. Belo Horizonte, 2018, p. 1-6.

GOTO, Mário. Física e música em consonância. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, p. 2307-1-2307-8. 2009.

GOUVEIA, Flávia. Como dois e dois são... dois pra lá, dois pra cá! In: **Matemática e Ciências na Sala de Aula**. MONIZ, Maria Isabel D’Andrade de Sousa; GOMES, Rodrigo Rafael; PANTANO FILHO, Rubens. Salto: FoxTablet, 2020. p. 11-24.

GRANGEIRO, Marcelo. **Ai, pisaram no meu pé!**: um novo conceito em aprendizagem e ensino na dança de salão. São Paulo: Scortecchi, 2014.

GRILLO, Maria Lucia; PEREZ, Luiz Roberto (Org.). **Física e Música**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

GUERRA, Lemuel Dourado; SILVA, Jairo Bezerra da. Cultura e desenvolvimento: uma visão crítica dos termos do debate. In: BRASILEIRO, Maria Dilma Simões; MEDINA, Júlio César Cabrera; CORIOLANO, Luiza Neide (Orgs.). **Turismo, cultura e desenvolvimento** [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2012. pp. 195-233.

GUERRA MORAES, Andreia; BRAGA BARBOSA, Marco; REIS OLIVEIRA, José Cláudio. Física e arte: uma proposta para a compreensão cultural da ciência. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, 2009, n.º extra, p. 1763-1766.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Fearl. **Fundamentos de Física**. V. 1: Mecânica. 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HAUN, Isis Conrado. A dança como Reconstrução de Memórias e suas Possibilidades de formação na Educação Escolar. **COLÓQUIO INTERNACIONAL “EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE” IX**. Educom. V. 9, n.1, set. 2015.

HESSEN, Boris. **Las Raíces Socioeconómicas de la Mecánica de Newton**. Habana, Cuba: Academia, 1985.

ITO, Carol. **Mergulho Profundo**. 07 ago. 2018. Disponível em: <https://revistatrip.uol.com.br/tpm/julie-gauthier-mergulhadora-e-cineasta-danca-a-40-metros-de-profundidade-no-curta-ama>. Acesso em: 10 jul. 2023.

JAPIASSU, Hilton. **O Mito da Neutralidade Científica**. Rio de Janeiro: Imago, 1975.

KOYRÉ, Alexandre. **Estudos de História do Pensamento Científico**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991.

LADRIÈRE, Jean. **Os Desafios da Racionalidade: o desafio da ciência e da tecnologia às culturas**. Petrópolis: Vozes, 1979.

LERIAS, Washington Roberto. **A Física da Música e a pluralidade didática**. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão: 2016.

LIMA, Luís Gomes de; RICARDO, Elio Carlos. Física e Literatura: uma revisão bibliográfica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 577-617, dez. 2015.

LUCIE, Pierre. **A Gênese do Método Científico**. Rio de Janeiro: Campus, 1977.

MATOS, Elaine Cristine do Amarante; SANTOS, Luzia Cristina de Melo. Considerações sobre as relações entre Ciência e Cultura no ensino de Biologia. **COLÓQUIO INTERNACIONAL “EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE” IX**. Educom. V. 9, n.1, São Cristóvão, SE, 20-22 set. 2012, p. 1-11.

MESQUITA, Rosa Maria. Comunicação não-verbal: relevância na atuação profissional. **Revista Paulista de Educação Física**, São Paulo, n. 11 (2), p. 155-163, jul/dez 1997.

MONTEIRO, Isadora Cristina de Souza. **As forças que equilibram o universo: revisitando Robert Hooke**. 2021. 86 f. Dissertação (Mestrado em História e Filosofia das Ciências) - Universidade de Lisboa. Lisboa, 2021.

MORGADO, Ana Cristina. As múltiplas concepções de cultura. **Múltiplos Olhares em Ciência da Informação**, v. 4, n. 1, mar. 2014.

NEWTON, Isaac. **Principia**: Princípios Matemáticas de Filosofia Natural. Livro I. 2ª. Ed. São Paulo: Edusp, 2002.

NEWTON, Isaac. **Isaac Newton letter to Robert Hooke**. 1675. Disponível em: <https://digitallibrary.hsp.org/index.php/Detail/objects/9792>. Acesso em: 01 mar. 2023.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica 1: Mecânica**. 5ª ed. São Paulo: Blücher, 2013.

ORTEGA Y GASSET, José. **Missão da Universidade**. Tradução Dayse Janet Löfgren Carnt e Helena Ferreira. Rio de Janeiro: EDUERJ, 1999.

OSADA, Jun'ichi. **Evolução das ideias da Física**. São Paulo: Edgard Blücher, EDUSP, 1972.

PAGLIARINI, Eliana de Camargo Magalhães. **A formação docente para o trabalho interdisciplinar no ensino superior**. 2004. 100 p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2004.

PANTANO FILHO, Rubens. Tango e samba: irmãos e afrodescendentes. In: PANTANO FILHO, Rubens; OLIVEIRA, Rodrigo; SUAYA, Alejandro “Turco”. **Tango & Samba: um encontro de duas culturas**. Indaiatuba: Vitória, 2016. p. 11-28.

PANTANO FILHO; Rubens; LOURENÇONI, Maria Ângela. Milonga e Forró: dois bailes populares. **Revista Científica/FAP**. v. 23, n. 2, jul./dez. 2020.

PANTANO FILHO, Rubens; ZANI, Maria Luiza. O piano, a Matemática e a Física. In: PANTANO FILHO, Rubens; GOMES, Rodrigo Rafael. **Matemática e Ciências: reflexões e práticas**. Salto: FoxTablet, 2019. p. 195-209.

PANTANO FILHO; Rubens; OLIVEIRA, Rodrigo. Interdisciplinaridade: dança e física básica. In: LOURENÇONI, Maria Ângela; CALEGARI, Ricardo Pereira; PANTANO FILHO, Rubens. **Reflexões e Práticas Docentes**. Salto: FoxTablet, 2018a. p. 253-271.

PANTANO FILHO; Rubens; OLIVEIRA, Rodrigo. Dança: dos primórdios da humanidade ao balé da Renascença. In: PANTANO FILHO, Rubens; AMARAL, Emília. **O Renascimento em uma Perspectiva Interdisciplinar**. Curitiba: Prismas, 2018b. p. 157-174.

PANTANO FILHO; Rubens; OLIVEIRA E SILVA, Rodrigo. **Metodologia do ensino da atividade rítmica e dança**. Londrina: Educacional, 2017.

PENEREIRO, Júlio César. Leis de Newton I. In: MARQUES, Francisco das Chagas. **Física Mecânica**. Barueri: Manole, 2016, p. 91-111.

PERNA, Marco Antônio. **Samba de Gafieira: a história da dança de salão brasileira**. 2ª ed. Rio de Janeiro: o autor, 2001.

PESSALI-MARQUES, Bárbara. **O que afeta o equilíbrio na dança?** 15 jan. 2018. Disponível em: <https://barbarapessalimarques.blogspot.com/>. Acesso em: 04 mar. 2024.

PESSANHA, Márlon. Obstáculos cognitivos-epistemológicos e modelos explicativos no estudo sobre a estrutura da matéria nas aulas de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23 (2), p. 383-405, 2018.

PIASSI, Luís Paulo de Carvalho. De Èmile Zola a José Saramago: Interfaces didáticas entre as Ciências Naturais e a Literatura Universal. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n.º 1, p. 33-57, 2015.

PIASSI, Luís Paulo de Carvalho. **Interfaces entre Fantasia e Ciência**: Um estudo semiótico do filme “2001: Uma Odisseia no Espaço” como modelo de interpretação em perspectiva educacional. 2012. 204 f. Tese (Livre-Docência em Ficção Científica: História e Crítica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

PIASSI, Luís Paulo de Carvalho. **Contatos**: A ficção científica no ensino de ciências em um contexto sócio cultural. 2007. 462 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PINTO, Suely Lima de Assis. A cultura e as diferentes concepções apreendidas nas determinações históricas. **Revista de Educação do Curso de Pedagogia**. Campus Avançado de Jataí da Universidade Federal de Goiás. v. I, n. 3, jan./jul. 2007, p. 1-17.

PONCZEK, Roberto I. Leon. Da Bíblia a Newton: uma visão humanística da Mecânica. In: ROCHA, José Fernando Moura (Org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, p. 10-104, 2011.

PONTES, Joana Barreto. **Das gafieiras para o palco**: um estudo acerca da dança de salão e suas transformações sociais e artísticas. 2011. 97 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Educação Artística, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

PORTO, Cristina de Magalhães. Um olhar sobre a definição de cultura e de cultura científica. In: PORTO, Cristiane de Magalhães, BROTAS, Antonio Marcos Pereira, and BORTOLIERO, Simone Terezinha (Orgs.). **Diálogos entre ciência e divulgação científica**: leituras contemporâneas [online]. Salvador: EDUFBA, 2011, p. 93-122.

PORTO, Claudio Maia; PORTO, Maria Beatriz Dias da Silva Maia. Uma visão do espaço na mecânica newtoniana e na teoria da relatividade de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 1603-1-1603-8, 2008.

QUEIROZ, Glória Pessoa; LIMA, Maria da Conceição Barbosa; VASCONCELLOS, Maria das Mercês Navarro. Física e Arte nas estações do ano. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia - RELEA**, n. 1, p. 33-54, 2004.

REGERT, Ana Betriz. **Perfil dos profissionais que ministram aulas de dança de salão em Florianópolis/SC**. 2007. 114 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Educação Física, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

REIMÃO, Cassiano. A Cultura enquanto Suporte de Identidade, de Tradição e de Memória. **Revista da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas**, Lisboa, n.º 9, p. 309-321. 1996.



REIS, José Claudio; GUERRA, Andreia e BRAGA, Marco. Física e Arte: a construção do mundo com tinta, palavras e equações. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 3, São Paulo, July/sept 2005 p. 29-32.

ROCHA, José Fernando Moura. Origem e evolução do eletromagnetismo. In: ROCHA, José Fernando Moura. (Org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, p. 134-217, 2011.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da Ciência: A Ciência Moderna**, 2ª ed. Brasília: FUNAG, 2012.

RUSSELL, Bertrand. **O Impacto da Ciência na Sociedade**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

SANTOS, Eliete Cristina; ALMEIDA, Valéria Zanetti. História do balé (da corte renascentista à terra de Cassiano). In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓSGRADUAÇÃO, VI, 2006, São José dos Campos. **Anais do VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação**, São José dos Campos, SP: [s.n.], out. 2006, v. 13, n. 24, p. 1-4.

SANTOS, José Luiz dos Rodrigo. **O que é cultura**. São Paulo: Brasiliense, 2006.

SANTOS, Maria Eduarda Vaz Moniz dos. Ciência como cultura – Paradigmas e Implicações Epistemológicas na Educação Científica Escolar. **Química Nova**, v. 32, n. 2, p. 530-537, 2009.

SANTOS, Maria Eduarda Vaz Moniz dos. Cidadania, conhecimento, ciência e educação CTS. Rumo a “novas” dimensões epistemológicas. **Revista CTS**, n.º 6, vol. 2, p. 137-157, dezembro 2005a.

SANTOS, Maria Eduarda Vaz Moniz dos. Una Educación para el Desarrollo Sostenible: Linhas de força de um projecto educativo que insere a construção da cidadania na construção do saber científico. **Enseñanza de Las Ciencias**, número extra, 2005b.

SAWADA, Anunciata Cristina Marins Braz; ARAÚJO-JORGE, Tania Cremonini de; FERREIRA, Francisco Romão. Cienciarte ou Ciência e Arte? Refletindo sobre uma conexão essencial. **Revista Educação, Artes e Inclusão**, p. 158-177. 2017.

SCHENBERG, Mário. **Pensando a Física**. São Paulo; Brasiliense, 1984.

SCHOSSLER, Daniela Cristina. **Projetos Interdisciplinares visando à formação de alunos pesquisador**. 2013. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2013.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT JR., John W. **Princípios de Física**. Mecânica Clássica e Relatividade. V. 1. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

SEVCENKO, Nicolau. **O Renascimento**. 13ª ed. São Paulo: Atual, 1991.

SEWELL JR., Willian. **Lógicas da história: Teoria social e transformação social**. Petrópolis: Vozes, 2017.

SILVA, Ronaldo Conceição da; GOBARA, Shirley Takeco. Explorando a Física da Dança de Salão. **Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia**. VI. 27-30 nov. 2018. Ponta Grossa, PR. p. 1-12.

SOUZA, Mauro José de; SOUZA, Gerson de. A Cultura e Representatividade do Corpo que Dança: a Dança de Salão e a materialização de sentidos culturais na corporeidade. **Arquivos em Movimento**. Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 49-67, 2023.

THOMPSON, John B. **Ideologia e Cultura Moderna**. 9ª ed. Petrópolis: Vozes, 2011.

VALADARES, Eduardo de Campos. **Newton – a órbita da Terra em um copo d`agua**. São Paulo: Odysseus, 2003.

VIEIRA, Larissa Maria Gemino Alves. **A Conservação de Energia: os recursos didáticos, aprendizagem significativa e o pensamento complexo**. 2020. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ensino) – Instituto do Noroeste Fluminense de Educação Superior, Santo Antônio de Pádua, 2020.

VIEIRA, Mariane Araújo. Alguns aspectos da física Mecânica e Dança: Procedimentos Técnicos-Criativos. **Horizonte Científico**, v. 9, n.º 2, dez. 2015, p. 1-25.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

ZANETIC, João. Física e Cultura. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v. 57, n. 3, p. 55-70, out. 2006.

ZANETIC, João. Física e Arte: uma ponte entre duas culturas. **Pro-Posições**. Florianópolis, v. 17, n. 1 (49) – p. 39-57, jan./abr. 2006.

ZANETIC, João. Física e Literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas. **História, Ciência e Saúde**. Manguinhos, Rio de Janeiro, v. 13 (suplemento), p. 55-70, out. 2006.

ZANETIC, João. **Física também é Cultura**. 131 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 1989.

ZANETIC, João. Dos “Principia” da Mecânica aos “Principia” de Newton. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, 5 (n. especial): p. 23-25, jun. 1988.

ZYLBERSZTAJN, Arden. Galileu – um cientista e várias versões. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, 5 (n. especial): p. 36-48, jun. 1988.

# Apêndice A

## PRODUTO EDUCACIONAL

---



### A DANÇA E AS LEIS DE NEWTON

**RUBENS PANTANO FILHO**

**MÁRLON CAETANO RAMOS PESSANHA**

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Sorocaba - SP  
Abril de 2024

## A DANÇA E AS LEIS DE NEWTON

Figura A.1 – Acrobacia.



Fonte: **Cirque Phénix**, 2013. Disponível em: <https://lasaveurdesjours.wordpress.com/2013/11/28/lempereur-de-jade-la-legende-rendue-vivante-par-les-etoiles-du-cirque-de-pekin/>. Acesso em: 29 out. 2023.

**RUBENS PANTANO FILHO**

# LISTA DE FIGURAS

Figura A.1 – Acrobacia.....	155
Figura A.2 – Dança irlandesa.....	160
Figura A.3 – Salto no balé.....	164
Figura A.4 – Salto de uma bailarina de balé.....	166
Figura A.5 – Salto de uma bailarina de balé (resposta esperada).....	166
Figura A.6 – Salto de um bailarino de Hip Hop.....	167
Figura A.7 – Salto em altura de Javier Sotomayor.....	168
Figura A.8 – Acrobacia circense.....	170
Figura A.9 – Equilíbrio de dois bailarinos.....	175
Figura A.10 – Forças sobre os bailarinos.....	175
Figura A.11 – Forças sobre os bailarinos (resposta esperada).....	176
Figura A.12 – Poligonal das forças nos bailarinos.....	177
Figura A.13 – Dervishes.....	178
Figura A.14 – Cinco voadores de Papantla.....	180
Figura A.15 – A Dança dos Voadores.....	180
Figura A.16 – Dois bailarinos voadores.....	181
Figura A.17 - Detalhes das vestimentas.....	184
Figura A.18 – Pêndulo cônico.....	186
Figura A.19 – As forças sobre o corpo no pêndulo cônico.....	187
Figura A.20 – Grupo de Capoeira.....	190
Figura A.21 – Cirque de Soleil.....	194
Figura A.22 – Forças de atrito no pé do bailarino, enquanto a outra perna executa o “lápiss” ....	197
Figura A.23 – Apoio incorreto sobre toda a base do pé para execução do lápiss.....	198

# APRESENTAÇÃO

---

## INTRODUÇÃO

O Produto Educacional (PE) “A Dança e as Leis de Newton” consiste de uma proposta de atividades para realização no Ensino Médio (EM) quando do desenvolvimento da Mecânica Newtoniana, utilizando a Arte – a Dança em particular – como elemento para motivação e integração de conhecimentos.

No contexto dessa proposta, trabalha-se com a Ciência – e a Física, um de seus ramos – como um dos componentes da cultura humana, inserido no largo espectro cultural construído pela humanidade, o qual abarca uma gama enorme de outros elementos, tais como as crenças, a lei, os costumes, entre outros.

Para melhor refletir sobre esse tema - Ciência e Cultura -, sugere-se aos interessados a leitura dos trabalhos de João Zanetic, da Universidade de São Paulo (Brasil), Luís Paulo Piassi, também da Universidade de São Paulo (Brasil), Glen Aikenhead, da *University of Saskatchewan* (Canadá) e Maria Eduarda Vaz Moniz dos Santos, da Universidade de Lisboa (Portugal).

Em paralelo, a dança - uma forma de comunicação não-verbal - também se coloca como componente da cultura humana. É uma linguagem social que transmite sensações e sentimentos, ocupando um papel essencial na vida do ser humano, representando diversos aspectos da vida do homem.

A dança é uma das manifestações culturais da humanidade, uma das mais antigas manifestações artísticas, que tem origem nos movimentos naturais do corpo humano, para expressar emoções e sentimentos.

Assim, tendo em vista que a dança é essencialmente movimento, ela se torna um terreno fértil e interessante para trabalhar alguns conceitos fundamentais da Mecânica básica: velocidade, força, energia, torque, entre outras possibilidades.

## AS ATIVIDADES

A Mecânica básica é, costumeiramente, desenvolvida no primeiro ano desse ciclo de ensino. Assim, esse PE está sendo proposto para ser aplicado – a título de sugestão - ao longo de um ano letivo, em seis etapas distribuídas nos períodos bimestrais, com a sugestão de que ao menos uma delas seja realizada em cada bimestre do ano.

Justifica-se a distribuição das atividades ao longo do ano letivo e não concentradas, por exemplo, em uma sequência didática, que ocuparia um conjunto de aulas relativamente próximas, pois considera-se que para integrar Física e a Dança faz-se necessário apresentar um conjunto mais amplo de situações nas quais essa integração esteja presente.

Com essas premissas, esse PE é composto de seis atividades a seguir nomeadas:

- a) ATIVIDADE 1: Movimento e Referencial;
- b) ATIVIDADE 2: Movimento no Campo Gravitacional;
- c) ATIVIDADE 3: Forças e Equilíbrio;
- d) ATIVIDADE 4: Dinâmica do Movimento Circular;
- e) ATIVIDADE 5: Energia Mecânica;
- f) ATIVIDADE 6: Equilíbrio de Corpo Rígido.

Cada uma das seis atividades pode ser realizada pelos estudantes com orientação do professor em um conjunto de aulas simples ou duplas, dependendo da atividade e das características da turma, com duração aproximada de 45 min / 50 min ou 1h30min / 1h40min cada uma.

Para aplicação das atividades, as salas de aula ou os ambientes nos quais as mesmas serão desenvolvidas devem estar adequados para a projeção de vídeos (computador e *Data Show*) e com sistema de som. Imagens e sons apropriados são fundamentais para o bom andamento dos trabalhos.

As atividades aqui propostas podem ser realizadas de duas maneiras, de acordo com a avaliação pelo professor da complexidade dos temas nelas envolvidos, bem como das características das turmas nas quais serão aplicadas:

- a) primeiramente os estudantes, divididos em grupos de quatro componentes, assistem e analisam vídeos ou imagens fixas. Em geral, também devem ler algum texto de apoio. Depois respondem a um conjunto de questões propostas, visando ao entendimento e à incorporação dos conceitos envolvidos;
- b) num primeiro momento, são apresentados e discutidos pelo professor alguns conceitos básicos sobre o tema. Logo em seguida, os estudantes, divididos em grupos de quatro componentes, assistem e analisam vídeos ou imagens fixas. Em geral, também devem ler algum texto de apoio. Depois respondem a um conjunto de questões propostas visando ao entendimento e à incorporação dos conceitos envolvidos.

A seguir são descritas as seis atividades propostas.



# ATIVIDADE 1

## MOVIMENTO E REFERENCIAL

Figura A.2 – Dança irlandesa.



Fonte: John Benson. **Trinity Academy of Irish Dance**, 2010. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trinity\\_Academy\\_of\\_Irish\\_Dance.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trinity_Academy_of_Irish_Dance.jpg). Acesso em: 19 set. 2020.

Esta primeira atividade foi pensada para ser aplicada na abertura do ano letivo, logo após as aulas iniciais de apresentação da disciplina. Pretende-se com ela dar início à discussão da Cinemática, capítulo com o qual, geralmente, introduz-se o estudo da Mecânica no primeiro ano do EM.

Primeiramente, deve-se explicitar aos estudantes que se dará início do estudo dos movimentos – a Mecânica – e que, para tanto, a primeira atividade proposta contempla uma discussão dos conceitos de movimento, repouso e referencial. Além disso, explicar também que a atividade contempla uma interação entre Física e a Dança.

## PARTE 1

**OBJETIVO:** compreender os conceitos de movimento, repouso e referencial.

**GRUPOS:** esta atividade está programada para ser realizada em grupo de 04 (quatro) colegas.

**DINÂMICA:** leiam atentamente cada pergunta, discutam no âmbito do grupo, tentando estabelecer uma posição de consenso. Somente depois, respondam às questões propostas.

**DURANTE A ATIVIDADE:** a) argumentem; b) todas as opiniões são importantes; c) saibam ouvir; d) cedam a palavra; e) reflitam sobre argumentos que são contrários aos seus.

**DURAÇÃO PREVISTA PARA A ATIVIDADE:** duas aulas de 45 ou 50 min cada parte.

01) Um corpo está em **MOVIMENTO** quando \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

02) Um corpo está em **REPOUSO** quando \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

03) Um corpo pode estar em **MOVIMENTO** e em **REPOUSO** ao mesmo tempo?

a) SIM

b) NÃO

Justifiquem e/ou exemplifiquem \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

04) Um corpo pode estar em **MOVIMENTO** para uma pessoa (um observador) e, no mesmo instante, em **REPOUSO** para outra pessoa (outro observador)?

a) SIM

b) NÃO

Justifiquem e/ou exemplifiquem \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

05) Pode-se dizer que a Terra se move em torno do Sol? Ou podemos dizer que é o Sol que se move em torno da Terra?

Como vocês responderiam a essas questões? \_\_\_\_\_

---

06) **ARTE** (uma das definições) - é uma forma de o ser humano expressar suas emoções, sua história e sua cultura através de alguns valores estéticos, tais como beleza, harmonia, equilíbrio. A arte pode ser representada na música, na escultura, na pintura, no cinema, na dança, entre outras possibilidades.

**FÍSICA** (uma das definições) – ciência que investiga as leis do universo no que diz respeito à matéria e à energia, que são seus constituintes, e suas interações. A Física básica trata dos fenômenos mecânicos, ópticos, térmicos, eletromagnéticos, ondulatórios, etc.

**ARTE** e **FÍSICA** são duas áreas distintas do conhecimento humano ou, aparentemente, bem “distantes” uma da outra. Vocês acham que pode haver intersecções entre essas duas áreas?

Perguntando de outra forma: pode haver Arte na Física e/ou Física na Arte?

a) SIM

b) NÃO

Justifiquem e/ou exemplifiquem \_\_\_\_\_

---

---

**FECHAMENTO DA ATIVIDADE:** roda de conversa aberta e livre com os estudantes sobre a atividade desenvolvida.

**GRUPO:**

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

**PARTE 2**

Depois de respondidas as questões propostas, assistir em sequência os dois vídeos de performances de dança contemporânea do grupo de dança dirigido pelo coreógrafo, dançarino e artista francês Yoann Bourgeois.

Yoann Bourgeois iniciou suas atividades com artes circenses em *Châlons-en-Champagne*, cidade e comuna do nordeste da França, e dirigiu a companhia de dança itinerante *Compagnie Yoann Bourgeois*. O jornal *The New Yorker* o descreveu como um “acrobata do *nouveau-cirque*” e Wesley Morris, no *The New York Times*, chamou-o de “dramatista da física”. Ele foi o primeiro artista treinado em circo a dirigir em um Centro Coreográfico Nacional, o que fez na *Maison de la Culture* da cidade de *Grenoble*, de 2016 a 2022.

O primeiro vídeo, com Yoann Bourgeois e Marie Bourgeois, consiste de uma performance apresentada em 22 de outubro de 2022, por ocasião da pré-inauguração do Hangar Y, o novo centro cultural e de eventos da cidade de *Meudon*, França. Música: *Wild is the wind*, com Nina Simone.

**Vídeo 1:** *Celui qui tombe* (Aquele que cai)

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=J-sJtUpftFU>.

Acesso em: 06 mar. 2023.

O segundo vídeo, também protagonizado por Yoann Bourgeois, Marie Bourgeois e sua companhia de dança, consiste em performances apresentadas em 26 e 27 de agosto de 2016 no Festival Internacional de Berlim, Alemanha. Música: *My Way*, com Frank Sinatra.

**Vídeo 2:** *Celui qui tombe* (Aquele que cai),

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=n0zqQxz4DHs>.

Acesso em: 06 mar. 2023.

Depois de assistirem os dois vídeos, responder novamente o mesmo questionário.

**Observação:**

Há necessidade de, pelo menos, duas cópias para cada grupo, uma para ser respondida antes e outra para ser respondida após os alunos assistirem os vídeos.

Depois de aplicadas as duas etapas da atividade, é importante comparar o que foi respondido antes com o que foi respondido depois de eles terem assistido os vídeos, para assim avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema e também para verificar se houve mudança significativa de entendimento com relação aos conceitos envolvidos.

## ATIVIDADE 2

### MOVIMENTO NO CAMPO GRAVITACIONAL

---

**Figura A.3** – Salto no balé.



Fonte: Rafael Zart. **Filial da Bolshoi, Santa Catarina**, 2019. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Em\\_Santa\\_Catarina,\\_ministro\\_prestigia\\_iniciativas\\_de\\_acesso\\_%C3%A0\\_Cultura\\_\(48861359516\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Em_Santa_Catarina,_ministro_prestigia_iniciativas_de_acesso_%C3%A0_Cultura_(48861359516).jpg). Acesso em: 01 nov. 2023.

Esta segunda atividade foi pensada para ser aplicada após já terem sido trabalhados os conceitos de velocidade, aceleração, MRU, MRUV, vetores, força peso, queda livre e lançamento oblíquo de projéteis, de modo que os estudantes, nesse momento, já tenham conhecimento das propriedades do movimento de um corpo no campo gravitacional terrestre, nas proximidades da superfície.

**OBJETIVO:** compreender propriedades do movimento de um corpo no campo gravitacional.

**GRUPOS:** esta atividade está programada para ser realizada em grupo de 04 (quatro) colegas.

**DINÂMICA:** leiam atentamente cada pergunta, discutam no âmbito do grupo, tentando estabelecer uma posição de consenso. Somente depois, respondam às questões propostas.

**DURANTE A ATIVIDADE:** a) argumentem; b) todas as opiniões são importantes; c) saibam ouvir; d) cedam a palavra; e) reflitam sobre argumentos que são contrários aos seus.

**DURAÇÃO PREVISTA PARA A ATIVIDADE:** uma aula de 45 ou 50 min.

01) Um corpo pequeno, denso e compacto é lançado obliquamente nas proximidades da Terra. Considerando desprezível a resistência do ar, pode-se dizer que a trajetória por ele descrita tem o formato: \_\_\_\_\_

Interessante também é refletir sobre o movimento de um corpo extenso lançado obliquamente nas proximidades da Terra. Pode ser, por exemplo, o salto de uma bailarina de balé. Neste caso, há um ponto do corpo, o qual denominamos centro de massa (CM), que é o local onde pode-se imaginar toda a massa do corpo ali concentrada e como se todas as forças externas estivessem nele aplicadas. Para o corpo humano ereto, o CM está localizado muito próximo do umbigo.

O **Balé** é um estilo de dança que se originou nas cortes da Itália renascentista durante o século XV, e que se desenvolveu ainda mais na Inglaterra, Rússia e França como uma forma de dança de concerto.

Etimologia: a palavra balé vem do francês “ballet”, que, por sua vez, tem origem na palavra italiana “balletto”, diminutivo de *ballo* (dança), que vem do latim “ballare”, que significa dançar.

Assim, partindo dessas informações e considerando a foto de múltipla exposição a seguir (Figura A.4), trace a trajetória do CM da bailarina durante o salto.

**Figura A.4** – Salto de uma bailarina de balé.



Fonte: Jon Gray. **Salto da bailarina.** 2023. Disponível em: <https://www.jongrayphotographer.co.uk/dance-2/>. Acesso em: 02 jul. 2023.

Na Figura A.5 a seguir está a resposta esperada:

**Figura A.5** – Salto de uma bailarina de balé (resposta esperada).



Fonte: Jon Gray. **Salto da bailarina.** 2023. Disponível em: <https://www.jongrayphotographer.co.uk/dance-2/>. Acesso em: 02 jul. 2023.

02) Qual a trajetória descrita pelo CM da bailarina?

---

03) O **Hip Hop** é um movimento artístico e cultural que mistura música, dança, moda, grafite e diversos outros elementos para criar uma estética urbana e única. Trata-se de um movimento que nasceu no bairro do Bronx, em Nova York, na década de 1970, pelas comunidades jamaicanas, latinas e afro-americanas da cidade. Portanto, é um movimento que nasceu nas periferias urbanas e que, por esse motivo, passou por uma grande marginalização durante o começo da sua história. A etimologia do termo vem da união de duas palavras do inglês: “hip”, que significa algo atual, que está acontecendo no momento, e “hop”, que faz referência ao movimento da dança.

A Figura A.6 a seguir mostra um salto de um dançarino de hip hop. Imagine que, no instante da foto, ele está na sua máxima altura. Desenhe sobre a imagem dois vetores no centro de massa do bailarino: a) a velocidade vetorial no instante considerado; b) a ação gravitacional sobre ele.

**Figura A.6** – Salto de um bailarino de Hip Hop.



Fonte: Adobe Stock. *Hip hop dancer jumping high on concrete*. Disponível em: [https://as1.ftcdn.net/v2/jpg/00/83/80/46/1000\\_F\\_83804604\\_wq6fmIAxvbl0jS0wYfYXv17rhYhrGEW3.jpg](https://as1.ftcdn.net/v2/jpg/00/83/80/46/1000_F_83804604_wq6fmIAxvbl0jS0wYfYXv17rhYhrGEW3.jpg). Acesso em: 02 jul. 2023.

04) Agora um pouco de esporte. No salto em altura a técnica mais utilizada atualmente é o estilo Fosbury, inventada pelo norte-americano Dick Fosbury, nas Olimpíadas de 1968. Naquela competição, ele bateu o recorde olímpico, saltando 2,24 m. Mais tarde, em 1993, o cubano Javier Sotomayor bateu o recorde mundial na modalidade com 2,45 m. Imagine na Figura A.7 a seguir Sotomayor no momento do recorde, supondo que ultrapassou o sarrafo **horizontalmente** com velocidade 6,0 m/s. Considere ausência de resistência do ar e  $g = 10$

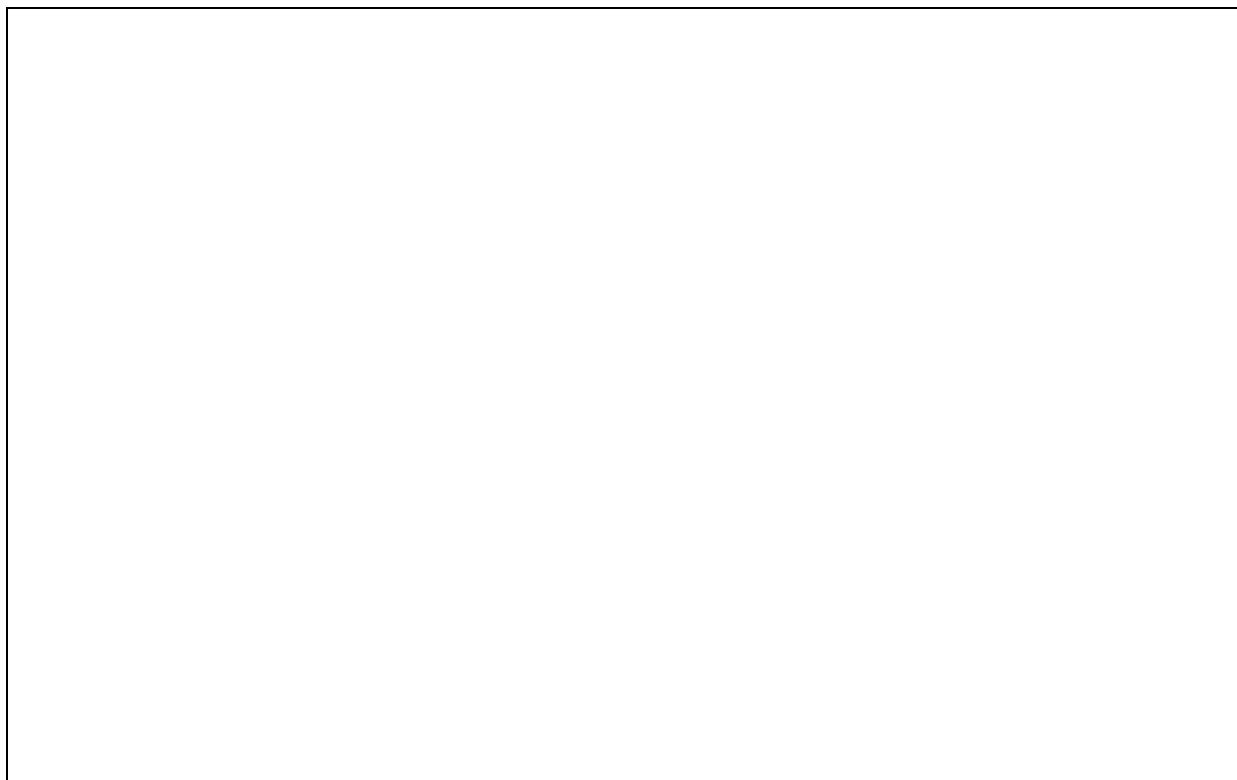


$m/s^2$ . Determine, a partir desse instante: a) o tempo de queda do atleta; b) o alcance horizontal após ele ultrapassar o sarrafo; c) o valor da componente vertical da velocidade quando ele toca o solo; d) o valor da velocidade quando ele toca o solo.

**Figura A.7** – Salto em altura de Javier Sotomayor.



Fonte: Kiara González Escobar. *Javier Sotomayor y la “utopia” del salto alto*. 2015. Disponível em: <https://oncubanews.com/deportes/javier-sotomayor-y-la-utopia-del-salto-alto/>. Acesso em: 02 jul. 2023.



---

**FECHAMENTO DA ATIVIDADE:** roda de conversa aberta e livre com os estudantes sobre a atividade desenvolvida.

**GRUPO:**

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

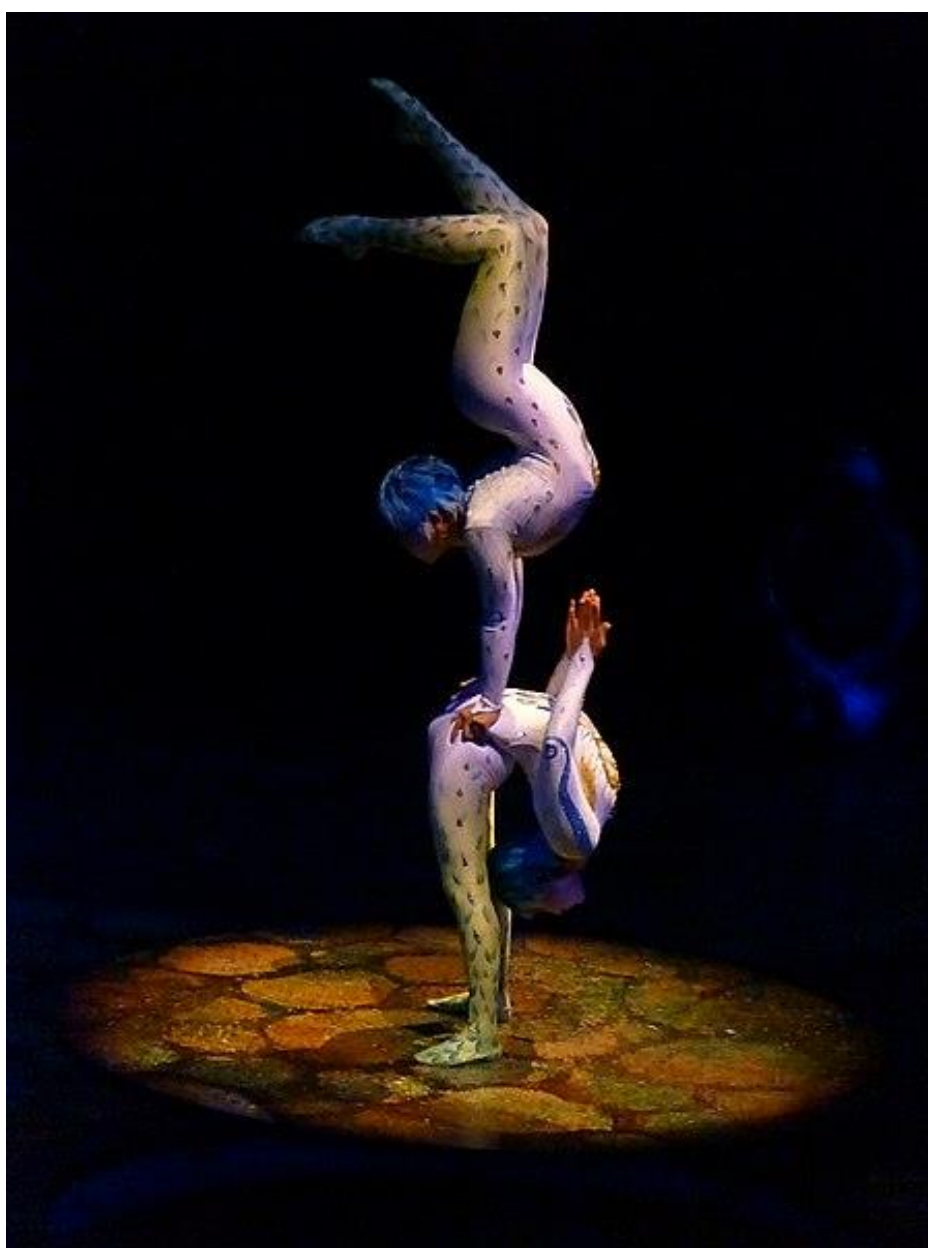
Nome: \_\_\_\_\_

# ATIVIDADE 3

## FORÇAS E EQUILÍBRIO

---

Figura A.8 – Acrobacia circense.



Fonte: Nevit Dilmen. **Cirque de Soleil Alegria, Istanbul, Turkey**, 2012. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cirque\\_du\\_Soleil\\_Istanbul\\_2012\\_Alegria\\_1200682\\_nevit.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cirque_du_Soleil_Istanbul_2012_Alegria_1200682_nevit.jpg). Acesso em: 01 nov. 2020.

Esta terceira atividade foi pensada para ser aplicada logo após já terem sido discutidos os conceitos de força, particularmente a força peso e as forças de contato, bem como as 3 Leis de Newton.

## PARTE 1

**OBJETIVO:** compreender o conceito de forças de campo e de contato.

**GRUPOS:** esta atividade está programada para ser realizada em grupo de 04 (quatro) colegas.

**DINÂMICA:** leiam atentamente cada pergunta, discutam no âmbito do grupo, tentando estabelecer uma posição de consenso. Somente depois, respondam às questões propostas.

**DURANTE A ATIVIDADE:** a) argumentem; b) todas as opiniões são importantes; c) saibam ouvir; d) cedam a palavra; e) reflitam sobre argumentos que são contrários aos seus.

**DURAÇÃO PREVISTA PARA A ATIVIDADE:** uma aula de 45 ou 50 min cada parte.

A dançarina, atleta e diretora Julie Gautier é praticante de apneia (mergulho livre) há vários anos, tendo participado de campeonatos mundiais da modalidade, tornando-se recordista francesa, em 2008, depois de chegar a 62 m de profundidade.

No filme AMA, um curta-metragem dirigido por ela e filmado em Veneza (Itália) na piscina mais profunda do mundo, a dançarina subaquática realiza uma performance ininterrupta, dançando por 6 min a 40 m de profundidade, sem nenhum tipo de equipamento para respirar (Ito, 2018).

O filme foi exibido em festivais de cinema de vários países, tais como Alemanha, Rússia e Bélgica. Estreado no dia 8 de Março de 2018, na celebração do Dia Internacional da Mulher, o título do filme AMA, “mulher do mar” em japonês, faz referência ao termo que designa as mulheres que no Japão mergulham em profundidade para apanhar pérolas, sem recurso a qualquer tipo de equipamento, uma prática milenar já quase extinta no país (Ito, 2018)

### Referência

ITO, Carol. **Mergulho Profundo**. 2028. Disponível em: <https://revistatrip.uol.com.br/tpm/julie-gauthier-mergulhadora-e-cineasta-danca-a-40-metros-de-profundidade-no-curta-ama>. Acesso em 10 dez. 2022.

Assistir o vídeo e, logo após responder às questões propostas a seguir.

**Vídeo 1:** *AMA - a short film by Julie Gautier*

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=bdBuDg7mrT8>.

Acesso em: 06 mar. 2023.

01) **FORÇA** é uma grandeza \_\_\_\_\_ (escalar / vetorial) que consiste em uma ação de um corpo sobre outro, ou seja, representa uma interação entre dois corpos distintos. Assim, as forças ocorrem sempre \_\_\_\_\_ (isoladamente / aos pares).

02) Na natureza, encontramos forças de campo ou de contato. Conceitue e exemplifique cada modalidade.

a) Forças de Campo: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

b) Forças de Contato: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

03) No vídeo, a bailarina parece ficar mais leve ao dançar debaixo d'água. Nesse caso, o peso da bailarina diminuiu?

a) SIM

b) NÃO

Expliquem \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

04) Durante a performance debaixo d'água, há alguma outra força sendo exercida sobre a bailarina além da força peso?

a) SIM

b) NÃO

Expliquem \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

05) Em caso positivo, essa força é de campo ou de contato? Pesquisem na Internet sobre essa força.

Expliquem \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Depois de aplicada a atividade, na aula seguinte a mesma foi analisada e discutida. Depois disso, procedeu-se uma análise do que foi respondido, para avaliar se houve apreensão dos conceitos.

**GRUPO:**

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

No final da atividade, sugere-se que os estudantes assistam um pequeno documentário que conta um pouco da história sobre as “AMA”, mulheres caçadoras de pérolas, tradição milenar na cultura japonesa.

**Vídeo 2:** *AMA – mergulhadoras japonesas*

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=54AOwVAUcK4&t=467s>.

Acesso em: 13 jul. 2023.

**Observação:**

O vídeo 2 mostra algumas cenas originais, nas quais as mergulhadoras japonesas aparecem com os seios desnudos, vestindo apenas um short, como acontecia até o final dos anos 1940, após a Segunda guerra Mundial.

Dependendo das características da turma de estudantes, pode haver constrangimento em exhibir esse vídeo. Nesse caso, pode-se utilizar uma segunda opção, agora com elas vestidas, como ocorre atualmente.

**Vídeo 3:** *Japanese women diving for pearls on Pearl Island Japan*

Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=Dm1O\\_G1I36I](https://www.youtube.com/watch?v=Dm1O_G1I36I).

Acesso em: 13 jul. 2023.

## PARTE 2

**OBJETIVO:** compreender as condições de equilíbrio de um corpo.

**GRUPOS:** esta atividade está programada para ser realizada em grupo de 04 (quatro) colegas.

**DINÂMICA:** leiam atentamente cada pergunta, discutam no âmbito do grupo, tentando estabelecer uma posição de consenso. Somente depois, respondam às questões propostas.

**DURANTE A ATIVIDADE:** a) argumentem; b) todas as opiniões são importantes; c) saibam ouvir; d) cedam a palavra; e) reflitam sobre argumentos que são contrários aos seus.

**DURAÇÃO PREVISTA PARA A ATIVIDADE:** uma aula de 45 ou 50 min.

01) Grandezas vetoriais são somadas de um modo um tanto distinto daquele usado para somar grandezas escalares, tendo em vista a necessidade de levarmos em consideração as direções e sentidos a elas associados. Explique sucintamente esse processo de soma.

a) Método do paralelogramo: \_\_\_\_\_

---

---

---

b) Método da poligonal: \_\_\_\_\_

---

---

---

02) Quando a resultante das forças aplicadas sobre uma partícula é nula, então ela está em equilíbrio. Esse equilíbrio pode ser estático ou dinâmico. O que significa cada caso?

a) Equilíbrio estático: \_\_\_\_\_

---

---

b) Equilíbrio dinâmico: \_\_\_\_\_

---

---

03) Um corpo em **MOVIMENTO** pode estar em equilíbrio?

a) SIM

b) NÃO

Justifiquem e/ou exemplifiquem \_\_\_\_\_

---

---

---

---

04) Um corpo que **MOMENTANEAMENTE** tem velocidade nula está, necessariamente, em equilíbrio?

a) SIM

b) NÃO

Justifiquem e/ou exemplifiquem \_\_\_\_\_

---

---

---

---

05) Na Figura A.9 a seguir, registra-se um instante de equilíbrio em que dois bailarinos realizam um movimento acrobático em um ensaio para uma apresentação de dança.

**Figura A.9** – Equilíbrio de dois bailarinos.



Fonte: do autor.

Supondo-os momentaneamente em equilíbrio e também que não há tendência de escorregamento relativo da bailarina sobre a perna do bailarino, representem na imagem a seguir (Figura A.10) as forças atuantes sobre eles.

**Figura A.10** – Forças sobre os bailarinos.

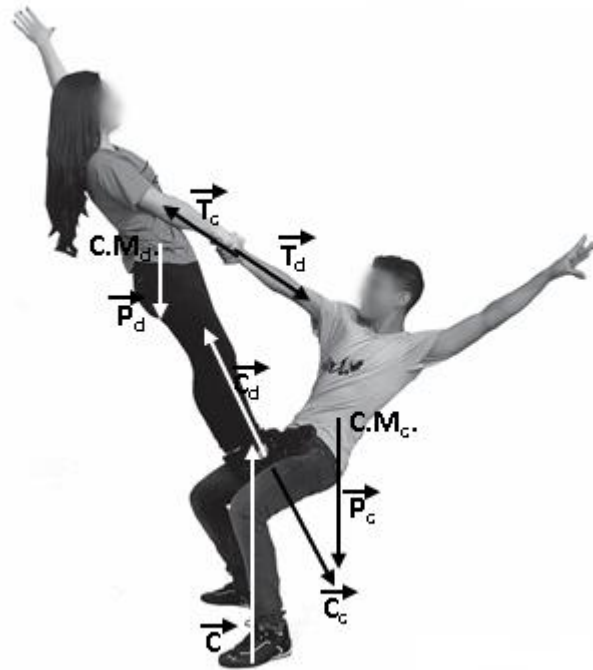


Fonte: do autor.

Na Figura A.11 a seguir está representada a resposta esperada:

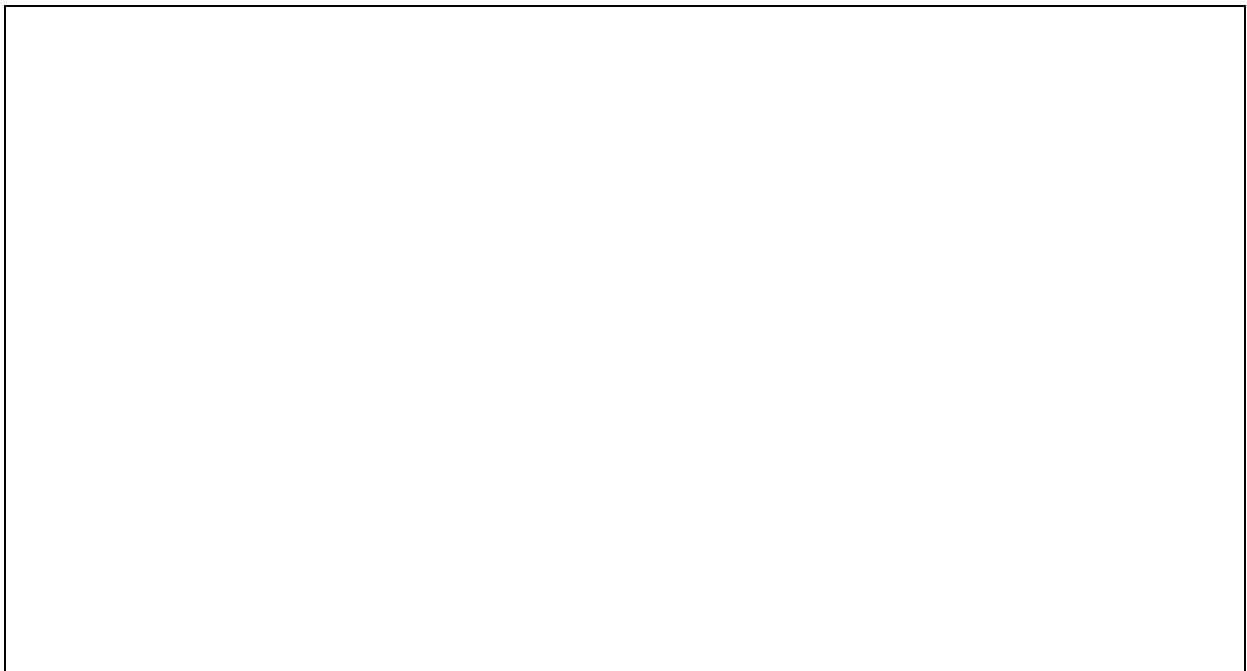


**Figura A.11** – Forças sobre os bailarinos (resposta esperada).



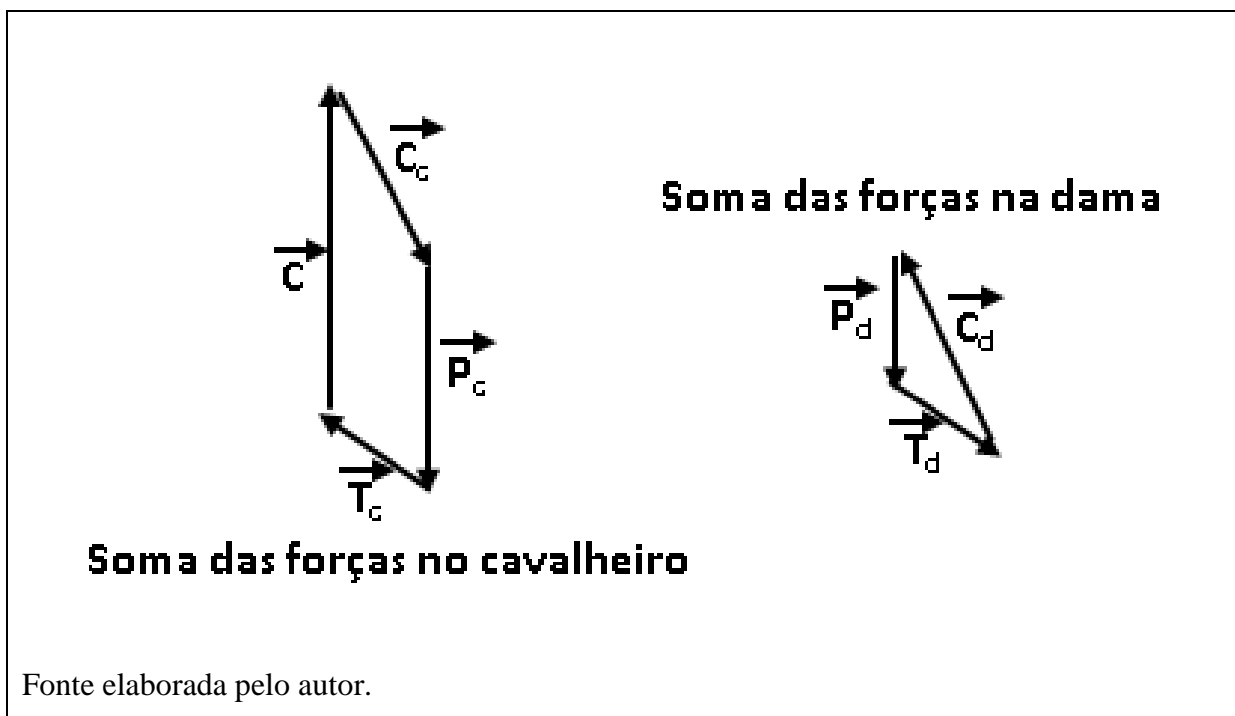
Fonte: do autor.

06) Novamente, supondo os bailarinos momentaneamente em equilíbrio, desenhe a poligonal de forças para cada um deles. Supondo a massa do bailarino igual a 100 kg e a da bailarina igual a 40 kg (valores fictícios), desenhe as forças em escala.



Na Figura A.12 está representada a resposta esperada:

**Figura A.12** – Poligonal das forças nos bailarinos.



07) Para cada bailarino, uma vez que está em equilíbrio, a poligonal de forças correspondente deve ser: \_\_\_\_\_

Justifiquem \_\_\_\_\_

**FECHAMENTO DA ATIVIDADE:** roda de conversa aberta e livre com os estudantes sobre a atividade desenvolvida.

**GRUPO:**

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

# ATIVIDADE 4

## DINÂMICA DO MCU

Figura A.13 – Dervishes.



Fonte: Dosseman. **Rizvaniye Camii Dervishes preparations**, 2005. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%C5%9Eanl%C4%B1urfa\\_Dervishes\\_3401.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%C5%9Eanl%C4%B1urfa_Dervishes_3401.jpg). Acesso em: 19 set. 2020.

Esta quarta atividade foi pensada para ser aplicada logo após já terem sido trabalhados os conceitos básicos da dinâmica do MCU, de modo que os estudantes, nesse momento, já tinham conhecimento das três Leis de Newton, o conceito de velocidade vetorial, aceleração radial, força resultante centrípeta e a dinâmica do MCU.

### PARTE 1 - Leitura de artigo

**OBJETIVO:** conhecer a cultura do Povo Totonaca e compreender a dinâmica do MCU.

**GRUPOS:** esta atividade está programada para ser realizada em grupo de 04 (quatro) colegas.

**DINÂMICA:** leiam atentamente cada pergunta, discutam no âmbito do grupo, tentando estabelecer uma posição de consenso. Somente depois, respondam às questões propostas.

**DURANTE A ATIVIDADE:** a) argumentem; b) todas as opiniões são importantes; c) saibam ouvir; d) cedam a palavra; e) reflitam sobre argumentos que são contrários aos seus.

**DURAÇÃO PREVISTA PARA A ATIVIDADE:** uma aula de 45 ou 50 min.

**Física e Arte:** a Dança dos Voadores de Papantla (Pantano Filho, 2020).

A Dança dos Voadores ou dança dos *hombres pájaros* é um ritual folclórico, com profundo significado espiritual, que consiste em poderoso símbolo da cultura Totonaca, povo indígena que habita na Serra Norte de Puebla e no estado de Vera Cruz (ou Veracruz), em particular na cidade de Papantla, México. Essa dança, praticada há centenas de anos, desde o período pré-hispânico, teria surgido entre os povos originários mesoamericanos – provavelmente entre os nahuas, huastecos e otomis (Becattini, 2017). Em 2009, essa dança foi reconhecida pela UNESCO como Patrimônio Imaterial da Humanidade.

Nesse ritual, a dança tem início com cinco homens que sobem ao topo de um tronco de madeira de altura entre vinte e trinta metros, no qual há um quadro de madeira em sua parte mais elevada. Quatro deles - os discípulos - são amarrados pelos pés, cada um em uma de quatro cordas, cujas outras extremidades estão presas no topo da torre. O quinto homem – o caporal – fica em pé sobre a torre. Na celebração, os quatro discípulos, que são os dançarinos voadores, representam os quatro pontos cardeais – Norte, Sul, Leste e Oeste -, bem como também representam os quatro elementos: terra, ar, fogo e água. O caporal – líder do grupo - encena o quinto elemento, o sol (Llano, 2015). Observe a Figura A.14.

Uma vez no topo da torre, o caporal reconhece os quatro pontos cardeais, partindo do Leste, porque acredita-se – na cultura Totonaca - que a vida veio dessa direção. Inicialmente, os quatro voadores sentam no quadro de madeira e enfrentam o caporal. Logo depois, em um

momento apropriado, eles caem para trás “feridos”, para então descenderem, suspensos pelas cordas.

Depois desse evento inicial, ao mesmo tempo em que dança, o caporal toca uma flauta ou um tambor, provocando um movimento giratório da plataforma de madeira. Dessa forma, os voadores vão caindo, em movimento de rotação em torno do tronco central, criando uma espécie de cone em movimento giratório.

**Figura A.14** – Cinco voadores de Papantla.



Fonte: Luísa Vaz. **Voladores de Papantla en Cholula, Puebla**, 2015. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voladores\\_de\\_Papantla\\_en\\_Cholula,\\_Puebla,\\_Pue.\\_12.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voladores_de_Papantla_en_Cholula,_Puebla,_Pue._12.jpg). Acesso em: 19 set. 2020.

Durante a dança, na medida em que a plataforma começa a girar, as cordas vão se “abrindo” e os voadores vão descendo rodopiando, amarrados pelos pés e de cabeças para baixo; ao término da dança, as cordas vão se “fechando” (Figura A.15).

**Figura A.15** – A Dança dos Voadores.



Fonte: Simon Burchell. **El baile ritual del palo volador, afuera de las ruinas de El Tajín, Papantla**, 2007. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palo\\_volador,\\_Tajín,\\_México\\_06.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palo_volador,_Tajín,_México_06.jpg). Acesso em: 19 set. 2020.

Ao descer girando, cada um dos participantes adota uma posição de pernas diferente dos demais, representando as várias formas com as quais a chuva cai sobre a Terra (Becattini, 2017). Na descida, cada voador gira em torno do tronco treze vezes, correspondente ao número de meses do calendário maia, que multiplicado por quatro – o número de voadores - resulta em cinquenta e duas voltas, que representa um ciclo solar nos calendários indígenas pré-hispânicos (Veríssimo, 2018). Observe a Figura A.16.

**Figura A.16** – Dois bailarinos voadores.



Fonte: Inés Tan. **Palo de los voladores de Papantla**, 2020. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palo\\_de\\_los\\_voladores\\_de\\_Papantla.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Palo_de_los_voladores_de_Papantla.jpg). Acesso em: 19 set. 2020.

### **A tradição**

Na verdade, em sua forma mais tradicional, o ritual tem início muito antes da dança, quando o grupo seleciona uma árvore na floresta, em geral a mais alta. A seleção da árvore, que deve ser aprovada pelo caporal, seu corte e a montagem da cerimônia recebe a denominação de *tsakáe kiki*. Uma vez aprovada, o caporal pede permissão ou o perdão ao deus da montanha – *Quihuicolo* - para tomá-la, dançando e cantando em torno da árvore e pedindo perdão por tirar a vida de um ser vivo da natureza. A árvore é então cortada, seus ramos são retirados e seu tronco é fixado num local previamente escolhido (Gutierrez, 2015). Antes de erguer o tronco, oferendas de flores, copal (um tipo de resina extraída de certas árvores), álcool, velas e frangos ou um peru são colocados no buraco. Estes são então esmagados quando o tronco é erguido,

para que se somem à fertilidade da terra. O tronco torna-se assim um ponto de conexão entre o céu e a terra, e do submundo com o mundo da superfície, o eixo central de todo o universo.

Após a fixação do tronco, realizam-se então cânticos e orações para que, durante o ritual, nenhum dos participantes venha perder a vida. Os dançarinos são purificados com álcool aspergido sob a forma de uma cruz, fumo e tabaco. Depois disso, os cinco homens começam a escalar o poste, com o caporal em primeiro lugar. Por ser o líder do grupo, o caporal não descerá, ficando no topo do mastro até perto do fim da cerimônia.

Essa celebração tem origem em um mito dos Totonaca. Há muito anos, teria havido uma grave seca que trouxe fome, doenças e morte para a comunidade. Segundo eles, os deuses estavam retendo a chuva porque o povo os tinha negligenciado. A cerimônia fora criada para apaziguar os deuses e, assim, trazer as chuvas de volta. Em outra versão, o ritual teria sido criado, pelo mesmo motivo, por antigos homens de uma aldeia, que escolheram cinco jovens castos para a consagração. A árvore mais alta na floresta próxima foi cortada, com a permissão do deus da montanha - *Quihuicolo* -, despojada de ramos e arrastada até a aldeia, onde o tronco foi erguido com muita cerimônia. E a dança deveria ser feita em local alto, para que as preces chegassem aos céus rapidamente (Gutierrez, 2015). De acordo com o mito Totonaca, a dança seria decorrente da resposta dos deuses, que teriam dito aos homens: “Dancem, e vamos observar.” Assim, o ritual teria agradado ao deus da chuva e aos outros deuses, de modo que as chuvas retornaram e, com isso, foi retomada a fertilidade da terra.

No período pré-hispânicos, o ritual era bem mais complexo, envolvendo também tabus e meditação. Os participantes da cerimônia representavam aves e, assim, apresentavam-se vestidos como papagaios, araras, *quetzales* e águias, que representavam os deuses da terra, ar, fogo e água. O ritual está mais intimamente ligado com a chuva e as divindades solares, como *Xipe Totec* (deus da fertilidade) e *Tlazotlteotl* (deusa mãe da fertilidade, do parto, patroa dos médicos e ao mesmo tempo deusa cruel que trazia loucura).

Na simbologia dessa dança, o tronco dos voadores representa um falo gigantesco, o verdadeiro eixo do mundo ou a escada do céu que permite unir os espaços terrestres e infraterrestres. Colocado sobre uma elevação natural ou na praça do povo, quer dizer no centro do mundo, na intersecção dos rumos cósmicos e baixo, de oposição entre as forças diurnas e noturnas. Assim, o ritual seria uma metáfora da fertilização do céu à terra (Najera, 2008).

Há muito simbolismo na dança dos voadores e várias são as interpretações apontadas para a cerimônia. Llano (2015, p. 32), por exemplo, sintetiza cinco significados para a prática:

- a) A colocação dos voadores no quadro de cima representa os quatro pontos cardeais. O tronco vertical, onde fica em pé o caporal, simboliza uma quinta direção, dirigida ao centro da Terra;
- b) A ação de cravar um poste em um buraco na terra simboliza a cópula de um elemento masculino com outro feminino. É uma metáfora da fecundação;
- c) O ritual dos voadores representa a união das forças luminosas e quentes do mundo superior com as forças frias e escuras do mundo inferior. Ao mesclar essas forças, se consegue a fecundidade e a renovação da vida no mundo intermediário, onde vivem os seres humanos as plantas e os animais;
- d) O movimento do quadro encena o movimento permanente do cosmos;
- e) A ação dos voos simboliza principalmente as quedas das chuvas, indispensáveis para a cultura do milho. Na situação de seca, um pedido pelas águas.

### **Na modernidade**

O ritual foi parcialmente perdido após a conquista, tendo em vista que os espanhóis destruíram muitos dos registros dos povos originários, bem como a Igreja, que era contra os rituais “pagãos”, que foram silenciados ou, então, passaram a ser praticados em segredo. Dessa forma, muito do que se sabe hoje é devido à tradição oral. Posteriormente, elementos católicos foram incorporados ao evento, que se tornou mais um espetáculo e desaparecendo na maior parte no México e da América Central.

Em tempos atuais, ocorreram uma série de mudanças nesse ritual, devido ao desmatamento de grande parte da Serra de Puebla e zonas de montanha de Veracruz. Hoje, a maioria dos voadores executa a dança em postes permanentes, não mais de madeira, mas feitos de metal que, em Veracruz, foram doados pela indústria petrolífera. No entanto, hoje, agradar os deuses ainda é parte da versão mais tradicional do ritual.

Nas comunidades menores, o ritual é realizado esporadicamente, no dia da festa do santo padroeiro da comunidade ou em outros eventos religiosos. Em comunidades maiores, tornou-se mais um evento para turistas, tal como ocorre com os voadores no Parque de Chapultepec, cidade do México. Grupos de voadores também já se apresentaram em muitas partes do México e em outros países, como parte de festivais culturais, visando promover internacionalmente o ritual e sua cultura.

A vestimenta dos voadores para o ritual consiste em calças vermelhas, camisa branca, um pano no peito e um boné. Na calça, no boné e no pano no peito há bordados e decoração com flores e pequenos espelhos. O pano no peito simboliza o sangue, o chapéu é adornado com flores para a fertilidade, os espelhos representam o sol e as fitas multicoloridas que adornam o topo do tronco representam o arco-íris. Observe a Figura A.17.



**Figura A.17** - Detalhes das vestimentas.



Fonte: Alejandro Linares Garcia. **Voladores de Papantla, Veracruz**, 2010. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:OlderVoladorChurchPapanta.JPG>. Acesso em: 19 set. 2020.

### Referências

BECATTINI, Natália. **Voadores de Papantla**: dança mágica para salvar o mundo. 2017. Disponível em: <https://www.360meridianos.com/especial/voadores-de-papantla>. Acesso em: 01 ago. 2020.

GUTIERREZ, Maria J. **Voadores de Papantla**: uma tradição de altos voos. 2015. Disponível em: <https://reportersombra.com/voadores-de-papantla-uma-tradicao-de-altos-voos/>. Acesso em: 01 ago. 2020.

LLANO, Héctor López de. **Los voladores de Papantla**: una mirada desde la etnomusicología. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.

NAJERA, Martha Iliá. El rito del “palo volador”; encuentro de significados. *Revista Española de Antropología Americana*. February 2008, v. 38, n. 1, p. 51-73.

PANTANO FILHO; Rubens. **Física e Arte**: a Dança dos Voadores de Papantla. In: FRANCO; Gabriele; SANCTIS, Ricardo José Orsi de; PANTANO FILHO, Rubens. **Educação, Ensino e Docência**. Salto: FoxTablet, 2020. p. 211-222.

VERÍSSIMO, Arthur. **Homens-Pássaros**: os voadores de Papantla, México. 2018. Disponível em: <http://arthurverissimo.virgula.com.br/2018/07/06/homens-passaros-os-voadores-de-papantla-no-mexico/>. Acesso em: 01 ago. 2020.

Depois da leitura, assistam agora um dos vídeos sobre a dança dos voadores, vários deles disponíveis na plataforma *Youtube*, tal qual o seguinte:

**Vídeo:** *Cultura mexicana, homens voadores.*

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KxHbKAN0AnQ&t=36s>.

Acesso em: 10 set. 2022.

Após a leitura e discussão do texto e visualização do vídeo, responder às questões a seguir:

01) A Dança dos Voadores é parte das tradições do povo Totonaca, um mito na cultura desses povos originários daquela região do México. O que se entende por mito?

---

---

---

02) Cite ao menos três significados da Dança dos voadores para o povo Totonaca.

---

---

**FECHAMENTO DA ATIVIDADE:** roda de conversa aberta e livre com os estudantes sobre a atividade desenvolvida.

**GRUPO:**

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

## PARTE 2 - A Física do movimento dos voadores

**OBJETIVO:** compreender a dinâmica do MCU.

**GRUPOS:** esta atividade está programada para ser realizada em grupo de 04 (quatro) colegas.

**DINÂMICA:** leiam atentamente cada pergunta, discutam no âmbito do grupo, tentando estabelecer uma posição de consenso. Somente depois, respondam às questões propostas.

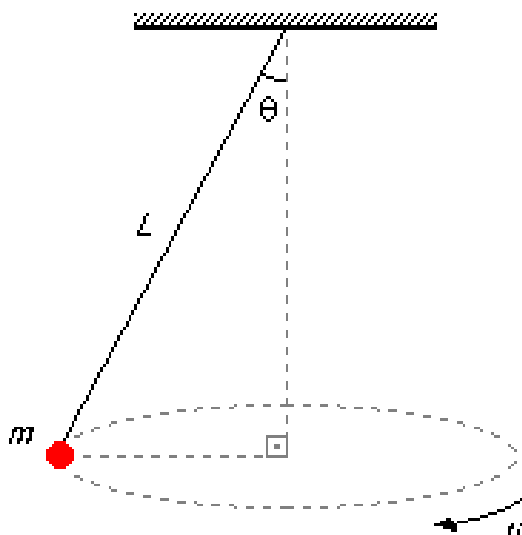
**DURANTE A ATIVIDADE:** a) argumentem; b) todas as opiniões são importantes; c) saibam ouvir; d) cedam a palavra; e) reflitam sobre argumentos que são contrários aos seus.

**DURAÇÃO PREVISTA PARA A ATIVIDADE:** uma aula de 45 ou 50 min.

Uma vez conhecida a tradicional dança dos voadores, a partir desse ponto passamos a analisar o movimento dos dançarinos do ponto de vista físico.

Na fase de descida em círculos, originária pela dança e pelos sons dos instrumentos executados pelo caporal, cada um dos voadores executa um movimento tal qual um pêndulo cônico. Esse é o termo que, na Física, é utilizado para designar um sistema em que um corpo de massa ( $m$ ), suspenso por um fio de comprimento ( $L$ ) descreve um movimento circular em um plano horizontal, com velocidade angular ( $\omega$ ), em geral constante, de modo que o fio faça uma “varredura” de uma superfície de um cone imaginário, conforme mostra a Figura A.18.

**Figura A.18** – Pêndulo cônico.



Fonte: elaborada pelo autor.

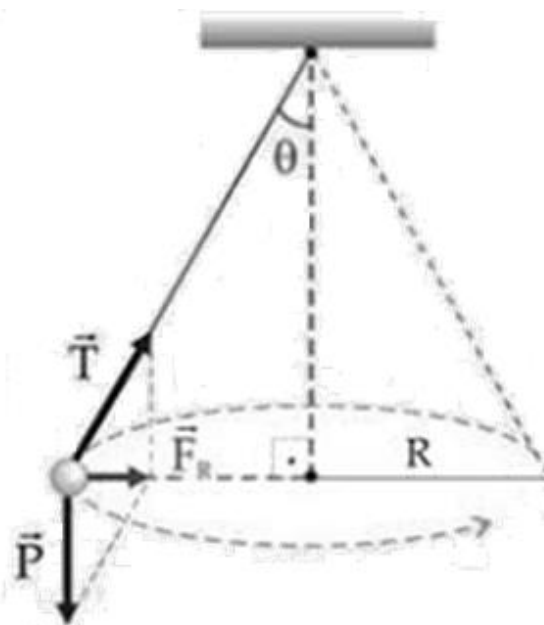
01) Qual a direção da velocidade de um dançarino em um determinado instante? Reproduza a figura representativa do pêndulo cônico e represente a velocidade vetorial do corpo girante em determinado instante.

02) Quantas e quais são as forças atuantes sobre cada dançarino, durante a descida? Quantas: \_\_\_\_\_. Quais: \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_. Despreze a resistência do ar. Represente-as na reprodução da Figura A.18 característica do pêndulo cônico desenhada para responder à questão 01.

03) Determine graficamente, na mesma figura, a resultante das forças assinaladas na questão anterior. Qual a sua direção e sentido? \_\_\_\_\_

Na Figura A.19 está representada a resposta esperada:

**Figura A.19** – As forças sobre o corpo no pêndulo cônico.



Fonte: elaborada pelo autor.

A soma vetorial dessas duas forças,  $P$  e  $T$ , constituirá então a resultante centrípeta necessária para manter o pêndulo nesse movimento, que estamos imaginando com velocidade angular constante (Serway; Jewett Jr., 2015). Assim, uma análise relativamente simples do triângulo retângulo formado pelas forças, que pode ser observado na Figura A.18, permitirá responder às seguintes questões:

04) O que impede o dançarino de “sair” pela tangente?

---



---

05) Deduza uma relação entre a força tensora na corda, o ângulo de inclinação do fio e a velocidade de rotação do corpo.

Resposta esperada:

$$T \cdot \cos\theta = P = m \cdot g$$

$$T = \frac{m \cdot g}{\cos\theta}$$

Além disso,

$$T \cdot \sin\theta = F_R = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

$$R = L \cdot \sin\theta$$

Substituindo T e R, obtém-se:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L \cdot \cos\theta}}$$

Também é possível escrevermos a centrípeta na forma:

$$T \cdot \text{sen}\theta = F_R = m \frac{v^2}{R}$$

Mais uma vez, substituindo T e R, obtém-se a velocidade do corpo que gira:

$$v = \sqrt{L \cdot g \cdot \text{sen}\theta \cdot \text{tg}\theta}$$

06) O que acontece com o pêndulo, quando a velocidade de rotação é aumentada? Verifique isso com a relação deduzida na questão anterior.

---

---

---

Resposta esperada:

A equação para cálculo de (T) mostra que há uma relação entre a intensidade da força tensora no fio (T), a massa do corpo (m), a gravidade local (g) e o ângulo ( $\theta$ ) de inclinação do fio em relação à vertical. Assim, (T) aumentará com (m) e também com o aumento de ( $\theta$ ), ou seja, mais pesado o corpo e/ou mais “aberto” o cone, a força tensora na corda será mais intensa.

Por sua vez, a expressão para cálculo de ( $\omega$ ) mostra que há uma relação entre a velocidade angular ( $\omega$ ), a gravidade local (g), o comprimento do fio (L) e o ângulo ( $\theta$ ) de inclinação do fio em relação à vertical. Pode-se perceber que, por exemplo, para um determinado comprimento (L), o aumento da velocidade angular provocará um aumento do ângulo ( $\theta$ ), ou seja, um cone mais aberto. Por outro lado, fixando-se o ângulo ( $\theta$ ), para cada (L) maior teremos uma velocidade angular ( $\omega$ ) menor, ou seja, o pêndulo mais lento. Observa-se também que a velocidade de rotação independe da massa do corpo.

### Referência

SERWAY, Raymond A.; JEWETT JR., John W. **Princípios de Física**. Mecânica Clássica e Relatividade. V. 1. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

**FECHAMENTO DA ATIVIDADE:** roda de conversa aberta e livre com os estudantes sobre a atividade desenvolvida.

### GRUPO:

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

# ATIVIDADE 5

## ENERGIA MECÂNICA

Figura A.20 – Grupo de Capoeira.



Fonte: Brasil Sambashow Köll. **Capoeira Show Köln**, 2011. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Capoeira\\_Show\\_K%C3%B6ln.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Capoeira_Show_K%C3%B6ln.jpg). Acesso em: 01 nov. 2023.

Esta quinta atividade foi pensada para ser aplicada após os estudantes já terem apreendido os conceitos de energia mecânica em suas várias formas: cinética, potencial gravitacional e elástica.

**OBJETIVO:** compreender os conceitos de energia cinética e potencial (gravitacional e elástica), bem como a lei de conservação associada à energia mecânica.

**GRUPOS:** esta atividade está programada para ser realizada em grupo de 04 (quatro) colegas.

**DINÂMICA:** leiam atentamente cada pergunta, discutam no âmbito do grupo, tentando estabelecer uma posição de consenso. Somente depois, respondam às questões propostas.

**DURANTE A ATIVIDADE:** a) argumentem; b) todas as opiniões são importantes; c) saibam ouvir; d) cedam a palavra; e) reflitam sobre argumentos que são contrários aos seus.

**DURAÇÃO PREVISTA PARA A ATIVIDADE:** uma aula de 45 ou 50 min.

Iniciar a atividade assistindo ao vídeo de uma performance de dança contemporânea do grupo de dança dirigido pelo coreógrafo, dançarino e artista francês Yoann Bourgeois.

Yoann Bourgeois iniciou suas atividades com artes circenses em *Châlons-en-Champagne*, cidade e comuna do nordeste da França, e dirigiu a companhia de dança itinerante *Compagnie Yoann Bourgeois*. O jornal *The New Yorker* o descreveu como um “acrobata do *nouveau-cirque*” e Wesley Morris, no *The New York Times*, chamou-o de “dramatista da física”. Ele foi o primeiro artista treinado em circo a dirigir em um Centro Coreográfico Nacional, o que fez na *Maison de la Culture* da cidade de *Grenoble*, de 2016 a 2022.

O vídeo contempla uma performance intitulada *The Mechanics of History, at the Panthéon*, que foi apresentada em 23 de outubro de 2017, no Panteão, situado no *Quartier Latin*, em Paris.

**Vídeo:** *The Mechanics of History, at the Panthéon*

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FUE2qgx-xpM>.

Acesso em: 06 mar. 2023.

01) **ENERGIA** é uma grandeza \_\_\_\_\_ (escalar / vetorial) direta ou indiretamente relacionada com movimento.

02) A **energia cinética** de um corpo está relacionada essencialmente com: \_\_\_\_\_

03) A **energia potencial gravitacional** de um corpo está relacionada essencialmente com: \_\_\_\_\_



---

04) A **energia potencial elástica** de um sistema massa-mola está relacionada essencialmente com: \_\_\_\_\_

05) Em um sistema mecânico dito conservativo, um ganho de **energia potencial** implicará em uma \_\_\_\_\_ equivalente de **energia** \_\_\_\_\_. Desse modo a \_\_\_\_\_ **mecânica** será \_\_\_\_\_.

06) Por outro lado, em um sistema mecânico em que há forças \_\_\_\_\_, uma perda de **energia potencial**, por exemplo, não implicará em um \_\_\_\_\_ equivalente de **energia** \_\_\_\_\_. Desse modo a **energia** \_\_\_\_\_ do sistema não será \_\_\_\_\_.

07) No vídeo, os bailarinos caem de um certo degrau da escada girante sobre uma cama elástica e depois voltam à escada. Nesse trajeto de ida e volta, como é a sequência de conversão de energia? Preencha os espaços em branco com os termos apropriados.

Na queda do bailarino, a energia \_\_\_\_\_ por ele adquirida é convertida em \_\_\_\_\_, que depois é convertida em \_\_\_\_\_.

Depois disso, na subida, a energia \_\_\_\_\_ adquirida pelo bailarino é convertida em \_\_\_\_\_, que depois é convertida em \_\_\_\_\_ novamente.

08) Vocês observaram que na queda os bailarinos caem de um degrau e voltam, geralmente, a um degrau mais baixo. Qual a explicação para isso?

Expliquem \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

09) No entanto, às vezes, eles caem e retornam ao mesmo degrau. Há, inclusive, alguns momentos em que um dos bailarinos desce e, em seguida, sobe pela parede correspondente ao degrau mais alto. E agora, também levando em conta a resposta da questão anterior, como isso é possível?

Expliquem \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**FECHAMENTO DA ATIVIDADE:** roda de conversa aberta e livre com os estudantes sobre a atividade desenvolvida.

**GRUPO:**

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

## ATIVIDADE 6

### TORQUE E EQUILÍBRIO DE CORPO RÍGIDO

---

**Figura A.21** – Cirque de Soleil.



Fonte: Municipalidad de Talcahuano. **Cirque de Soleil alegró el corazón de los damnificados**, 2010. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cirque\\_de\\_Soleil\\_alegr%C3%B3\\_el\\_coraz%C3%B3n\\_de\\_los\\_damnificados\\_de\\_Talcahuano,\\_Chile.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cirque_de_Soleil_alegr%C3%B3_el_coraz%C3%B3n_de_los_damnificados_de_Talcahuano,_Chile.jpg). Acesso em: 01 nov. 2023.

Esta sexta atividade foi pensada para ser aplicada no quarto bimestre do ano letivo, logo após já terem sido discutidos os conceitos de torque, binário e equilíbrio de um corpo rígido.

### PARTE 1 – Torque e Equilíbrio

**OBJETIVO:** compreender os conceitos envolvidos no equilíbrio de um corpo rígido.

**GRUPOS:** esta atividade está programada para ser realizada em grupo de 04 (quatro) colegas.

**DINÂMICA:** leiam atentamente cada pergunta, discutam no âmbito do grupo, tentando estabelecer uma posição de consenso. Somente depois, respondam às questões propostas.

**DURANTE A ATIVIDADE:** a) argumentem; b) todas as opiniões são importantes; c) saibam ouvir; d) cedam a palavra; e) reflitam sobre argumentos que são contrários aos seus.

**DURAÇÃO PREVISTA PARA A ATIVIDADE:** uma aula de 45 ou 50 min.

Iniciar a atividade assistindo ao vídeo de uma performance/instalação do casal de bailarinos Yoann Bourgeois e Marie Bourgeois, no Taikoo Place, Hong Kong, em 2019.

**Vídeo:** *Tentative Approaches to a Point of Suspension*

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=AQfmuSPxVDs>.

Acesso em: 06 mar. 2023.

- 01) **TORQUE** é uma grandeza \_\_\_\_\_ (escalar / vetorial) que mede a eficácia da força em produzir rotação.
- 02) O **torque** de uma força depende de sua \_\_\_\_\_ e também da \_\_\_\_\_ de sua linha de ação em relação ao eixo.
- 03) Força cuja direção passa sobre o **eixo** apresenta torque \_\_\_\_\_, portanto sua eficácia rotacional é \_\_\_\_\_.
- 04) Para que uma **partícula** permaneça em equilíbrio é necessário que a soma \_\_\_\_\_ aplicadas seja nula.
- 05) Já para um **corpo rígido** permanecer em equilíbrio se faz necessário que a soma das \_\_\_\_\_ nele aplicadas seja nula e também que a soma dos \_\_\_\_\_ em relação a um ponto do corpo também seja nula.
- 06) No vídeo, os bailarinos buscam equilibrar-se sobre uma plataforma. Aparentemente, o bailarino tem mais massa do que a bailarina. Assim, qual a relação entre as distâncias de um e

de outro em relação ao centro da plataforma, onde está a mesa, para que eles consigam manter-se em equilíbrio? Expliquem: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

07) E se os bailarinos tivessem massas iguais, como vocês responderiam à questão anterior?

Expliquem: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

08) Seguramente há um eixo central sob a mesa para também equilibrar a plataforma. Uma vez atingido o equilíbrio, qual será a intensidade dessa força aplicada no centro da mesa?

Expliquem: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**FECHAMENTO DA ATIVIDADE:** roda de conversa aberta e livre com os estudantes sobre a atividade desenvolvida.

**GRUPO:**

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

**PARTE 2 – Torque e Binário**

**OBJETIVO:** compreender o conceito de torque em um binário.

**GRUPOS:** esta atividade está programada para ser realizada em grupo de 04 (quatro) colegas.

**DINÂMICA:** leiam atentamente cada pergunta, discutam no âmbito do grupo, tentando estabelecer uma posição de consenso. Somente depois, respondam às questões propostas.

**DURANTE A ATIVIDADE:** a) argumentem; b) todas as opiniões são importantes; c) saibam ouvir; d) cedam a palavra; e) reflitam sobre argumentos que são contrários aos seus.

**DURAÇÃO PREVISTA PARA A ATIVIDADE:** uma aula de 45 ou 50 min.

01) **BINÁRIO** é a denominação que se utiliza para designar um conjunto de \_\_\_\_\_ forças de intensidades \_\_\_\_\_, porém dirigidas em \_\_\_\_\_ opostos.

02) A soma vetorial das forças de um binário é nula?

SIM

NÃO

- 03) O **torque** de um binário quando escrito escalarmente é calculado por \_\_\_\_\_, onde “d” é distância entre as linhas de ação das duas forças.
- 04) Para anular o efeito rotacional de um binário faz-se necessário aplicar um segundo \_\_\_\_\_ cujo torque seja contrário ao primeiro.

Depois de respondidas as questões propostas, assistir ao vídeo com uma breve apresentação de movimentos do tango argentino protagonizada pelos bailarinos Emma Bogren e Richard Cepeda, na *Los Angeles Tango Academy*.

**Vídeo:** *Tango 203S with Enrosque and Lapis to the Right*

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-yLP-NaM9iU>

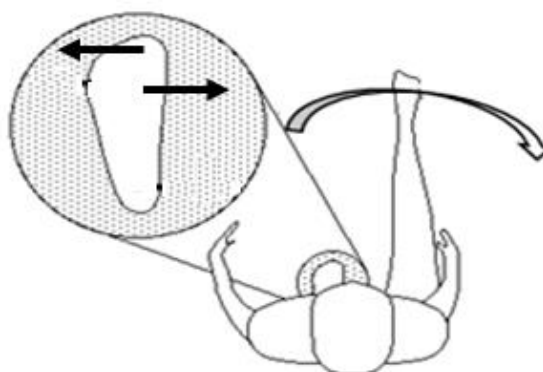
Acesso em: 06 mar. 2023.

O vídeo mostra um casal de bailarinos dançando um tango argentino, sendo que, durante a execução da dança, em certos momentos, o cavalheiro executa um movimento típico desse gênero de dança denominado “lápiz”.

Com o peso em uma das pernas (no caso da Figura A.22, a esquerda), a outra perna livre se movimenta descrevendo um movimento de rotação centrado na primeira perna. Observem que ele se apoia no pé de base e com a outra perna realiza o movimento circular, como se fosse a haste livre de um compasso.

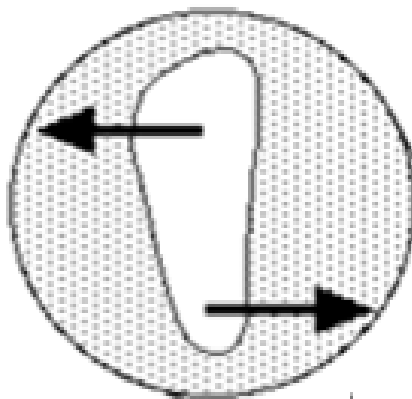
Para executar esse movimento, o pé de base do bailarino fica apoiado no piso somente pelo metatarso e não com toda a planta do pé. Quando ele vai fazer o giro, à direita no caso da Figura A.22, surgem então forças de atrito entre o chão e o pé na região de contato. Essas forças geram um torque que ele tem que vencer utilizando a rotação do próprio tronco para poder fazer o giro com a perna livre.

**Figura A.22** – Forças de atrito no pé do bailarino, enquanto a outra perna executa o “lápiz”.



Caso ele ficasse apoiado em toda a base do pé, conforme Figura A.23, o movimento de rotação da perna livre seria de mais difícil execução.

**Figura A.23** – Apoio incorreto sobre toda a base do pé para execução do lápis.



Fonte: autoria própria, 2021.

05) Expliquem esse aumento da dificuldade com base nas forças aplicadas no pé e no binário correspondente.

---

---

---

06) No vídeo, também pode-se perceber que para realizar o “lápiz” o cavalheiro faz antes um movimento de dissociação entre o tronco e o quadril, como se fosse o caso de uma mola helicoidal que sofre torção. Nesse caso, quando o bailarino executa o giro, a energia de movimento rotacional ou energia \_\_\_\_\_ por ele adquirida é decorrente da energia \_\_\_\_\_ elástica armazenada por conta dessa torção.

**FECHAMENTO DA ATIVIDADE:** roda de conversa aberta e livre com os estudantes sobre a atividade desenvolvida.

**GRUPO:**

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

# Apêndice B

## SUGESTÕES PARA OUTRAS ATIVIDADES

Na Tabela 1 a seguir estão listadas várias possibilidades – algumas já contempladas na pesquisa - para uma discussão envolvendo Física e Arte. Não é preciso ter experiência com dança, ou seja, dominar os movimentos. Algumas consultas pela internet permitirão a familiarização com os movimentos propostos.

Tabela 1 – Sugestão de temas para outras atividades.

Nº	TEMA	RECURSO VISUAL
1	Relatividade do Movimento	Performances de Yoann Bourgeois
2	Velocidade	Movimentos dos pés no xote e no baião
3	Movimento do Centro de Massa	Salto oblíquo na dança
4	Movimento Retilíneo Uniforme	Salto oblíquo na dança
5	Movimento Ret. Uniformemente Variado	Salto oblíquo na dança
6	Queda Livre	A “panqueca” no forró e no samba
7	Velocidade linear e angular	Movimento do casal na dança “Soltinho”
8	Força / Atrito	A caminhada na dança de salão
9	Equilíbrio	Dança: apoio dos pés em diferentes posições
10	Força e equilíbrio	Acrobacia de bailarinos
11	Plano inclinado	Performance de Aurélien Bory e Phil Soltanoff
12	Torque de força	<i>Calesita</i> no tango argentino
13	Equilíbrio de Sistema Rígido	<i>Colgada</i> no tango argentino
14	Torque de força	Levantar a dama no forró
15	Força centrípeta	<i>Danza de los Voladores</i>
16	Força centrípeta	A plataforma girante em Yoann Bourgeois
17	Referenciais inerciais e não inerciais	A plataforma girante em Yoann Bourgeois
18	Força restauradora / MHS	O pêndulo no relógio cuco
19	Acoplamento de Engrenagens	A transmissão de movimento no relógio cuco
20	Conservação da Energia Mecânica	Escada em caracol girante em Yoann Bourgeois
21	Energia Potencial Elástica	Rotação de tronco no tango argentino
22	Energia Potencial Elástica	O lápis no tango argentino
23	Energia Potencial Elástica	Salto no frevo
24	Energia Potencial Elástica	Plié e sauté no balé
25	Conservação do Momento Angular	3º ato - Lago dos Cisnes
26	Movimento de um Sistema Binário	Movimento do casal no “Soltinho”
27	Ondas nos instrumentos musicais	Piano, violino, violão e flautas

Fonte: autoria própria, 2023.



