

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Uma proposta de intervenção na compreensão dos fundamentos de mecânica
usando métodos ativos.**

Iara Francisca Vieira
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

IARA FRANCISCA VIEIRA

Uma proposta de intervenção na compreensão dos fundamentos de mecânica usando métodos ativos.

Dissertação Mestrado Profissional apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino em Física (Profissionalizante), para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Alvaro J. Magalhaes Neves

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

V658p
2025
Vieira, Iara Francisca, 1995-
Uma proposta de intervenção na compreensão dos
fundamentos de mecânica usando métodos ativos / Iara Francisca
Vieira. – Viçosa, MG, 2025.
1 dissertação eletrônica (284 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Álvaro José Magalhães Neves.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Física, 2025.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.798>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Mecânica - Estudo e ensino. 2. Física - Estudo e ensino.
3. Mecânica - Fundamentos. 4. Evidência. I. Neves, Álvaro
José Magalhães, 1964-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação em Ensino
de Física. III. Título.

CDD 22. ed. 531

IARA FRANCISCA VIEIRA

Uma proposta de intervenção na compreensão dos fundamentos de mecânica usando métodos ativos.

Dissertação Mestrado Profissional apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino em Física (Profissionalizante), para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 10 de setembro de 2025.

Assentimento:

Iara Francisca Vieira
Autora

Alvaro Jose Magalhaes Neves
Orientador

Essa dissertação mestrado profissional foi assinada digitalmente pela autora em 06/12/2025 às 18:02:28 e pelo orientador em 09/12/2025 às 21:11:04. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **QV5F.9DEJ.NVL3** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo em todos os momentos, por me conceder força nas horas de fraqueza e por me guiar quando tudo parecia perdido.

Aos meus pais, Marcos e Tatiane, e à minha irmã, Camila, pelo apoio incondicional e pela ajuda ao longo desta jornada.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pela oportunidade de aprimoramento acadêmico e profissional. Ao meu orientador, Álvaro José Magalhães Neves, pelos ensinamentos, pela paciência, pela amizade, pelos incentivos, pela compreensão e pela preocupação comigo.

Aos meus professores por tudo o que me ensinaram.

A secretária, Josieli Moris, que sempre se colocou à disposição para me ajudar.

Ao coordenador, Hallan Souza e Silva, por todo seu apoio.

Aos meus colegas de curso, pela troca de experiência e de conhecimentos e pelos momentos de descontração durante o café.

Aos colégios, professores de Física e alunos desses colégios por participarem dessa pesquisa, contribuindo para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca por contribuírem para o aperfeiçoamento desta dissertação.

A todas as pessoas que Deus colocou em meu caminho pelo suporte e incentivo ao longo dessa trajetória.

A todos os que torceram por mim e, de alguma forma, contribuíram para que meu sonho se concretizasse, minha mais sincera gratidão.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

O senhor é o meu pastor, nada me faltará.
Salmo 23, versículo 1

RESUMO

VIEIRA, Iara Francisca, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2025. **Uma proposta de intervenção na compreensão dos fundamentos de mecânica usando métodos ativos..** Orientador: Alvaro Jose Magalhaes Neves.

A pesquisa sistemática sobre o ensino de mecânica newtoniana em nível introdutório foi iniciada na década de 1970 e trouxe resultados que abalaram profundamente a crença na efetividade nas abordagens pedagógicas vigentes, em todos os campos do conhecimento. Esses estudos mostraram que o estudante traz consigo ideias próprias sobre o movimento (“concepções alternativas”), derivadas da sua vivência cotidiana, incompatíveis com a mecânica newtoniana e extremamente resistentes à mudança por meio do método de ensino tradicional. Esse desafio estimulou a criação de novas metodologias e instrumentos de ensino. Dois frutos notáveis desse esforço de pesquisa são vários métodos ativos de ensino e testes diagnósticos, sendo o mais célebre o “Force Concept Inventory” (FCI, “Inventário do Conceito de Força”). Neste trabalho, administramos o FCI a 1.361 estudantes das três séries do Ensino Médio, ao longo de três anos, com o propósito de identificar os conceitos mais desafiadores para um aprendiz. Esses pontos críticos foram examinados à luz da literatura científica e foram elaboradas três sequências didáticas com o propósito de auxiliar o estudante a superar essas dificuldades específicas: as concepções alternativas segundo as quais 1) a velocidade de um corpo é proporcional à força resultante que atua sobre ele; 2) um agente que exerce força sobre um corpo, transmite a ele algo como “um combustível” (o “impetus” das teorias medievais) que sustenta o seu movimento e 3) a confusão entre posição e velocidade, assim como entre velocidade e aceleração. O material desenvolvido endereça também o letramento científico do estudante. Ele foi desenvolvido a partir de elementos comprovadamente efetivos de métodos ativos de ensino e de princípios bem estabelecidos da psicologia cognitiva. As sequências didáticas foram aplicadas a duas turmas do primeiro ano do Ensino Médio e avaliadas por meio dos relatos de observadores, pelas respostas dos estudantes a questões sobre mecânica e com base nas suas impressões sobre as atividades desenvolvidas. Não foram utilizados pré e pós-testes.

Palavras-chave: ensino de física; mecânica newtoniana; fundamentos; evidência

ABSTRACT

VIEIRA, Iara Francisca, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2025. **A proposal for intervention in understanding the fundamentals of mechanics using active methods.** Adviser: Alvaro Jose Magalhaes Neves.

Scientific research on the teaching of mechanics at the introductory level began in the 1970s and provided insights that profoundly challenged the belief in the effectiveness of the traditional pedagogical approach across all fields of knowledge. These studies showed that students bring their own ideas about motion ("alternative conceptions"), derived from everyday experience, that are not only incompatible with Newtonian mechanics, but also highly resistant to change through traditional instruction. This challenge stimulated the development of new teaching methodologies and tools. Two important outcomes of this research effort are some active teaching methods and diagnostic tests, being the "Force Concept Inventory" (FCI) the most famous. In this study, we administered the FCI to 1,361 students across the three High School grades over a period of three years in order to identify the concepts most challenging for learners. These critical points were examined in light of the scientific literature, and three instructional sequences were developed with the purpose of helping students overcome these specific difficulties: the alternative conceptions according to which (1) the velocity of a body is proportional to the net force acting on it; (2) an agent exerting a force on a body transfers to it something akin to a kind "fuel" (the "impetus" of medieval theories) that sustains its motion; and (3) the confusion between position and velocity, as well as between velocity and acceleration. This material also addresses students' scientific literacy. It was designed based on proven elements from active learning methods and well-established principles of cognitive psychology. The instructional sequences were used with two first-year High School classes and evaluated through observers' reports, students' responses to mechanics-related questions, and their evaluation of the activities carried out. No pre- or post-tests were used.

Keywords: physics teaching; newtonian mechanics; fundamentals; evidence

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Os três estágios da trajetória de um projétil após um lançamento horizontal segundo Albert da Saxônia.....	20
Figura 2 — Pêndulo duplo plano.....	31
Figura 3 – Problema do malabarista.....	36
Figura 4 - Ganho absoluto (<Spós>-<Spré>) percentual em função da nota média (<Spré>) percentual no pré-teste de 62 disciplinas de Física básica.....	44
Figura 5 - Dicas para elaboração de testes conceituais efetivos.....	46
Figura 6 - Dinâmica da instrução pelos colegas.....	48
Figura 7 - Modelo simplificado da mente.....	51
Figura 8 - Ilustração de um tabuleiro com três hastes: 1, 2 e 3.....	52
Figura 9 – Organização, na mente, das informações necessárias para a resolução do problema dos discos, apresentado na figura 8.....	53
Figura 10 – Problema da cerimônia do chá.....	54
Figura 11 – Analogia entre o problema dos discos e o problema do chá.....	55
Figura 12 – Montagem utilizada para a realização dos experimentos que compõem as sequências didáticas sobre a primeira e a segunda lei de Newton, com destaque para alguns dos materiais.....	67
Figura 13 - Celular fixado no suporte com adesivo de contato e régua para manter fixa a angulação do suporte.....	69
Figura 14 – Suporte com celular posicionado sobre uma mesa em uma posição que permitiu à câmera filmar o movimento de um planador por toda a extensão de um trilho de ar, apoiado sobre uma segunda mesa.....	70
Figura 15 – Etapas do procedimento empregado para alinhar celular e trilho.....	71
Figura 16 – Marcação do círculo vermelho sobre uma fita adesiva branca fixada sobre o planador.....	72
Figura 17 – Marcação sobre o trilho de ar indicando a posição em que o planador passa a ser puxado pelo porta-pesos.....	73
Figura 18 – Marcação no trilho de ar das posições inicial e final da tração do planador.....	74
Figura 19 – Arranjo utilizado para reduzir o fluxo de ar de maneira independente do compressor.....	75
Figura 20 - Teste conceitual apresentado para alunos em uma disciplina introdutória de mecânica.....	78

Figura 21 - Distribuição das respostas no teste conceitual apresentado para alunos em uma disciplina introdutória de mecânica	79
Figura 22 – Questão 21 do FCI na versão padrão apresentada para alunos em uma disciplina introdutória de mecânica	80
Figura 23 - Questão cinco do FCI na versão padrão	89
Figura 24 - Questão 15 do FCI na versão padrão	90
Figura 25 - Questão 21 do FCI na versão padrão	91
Figura 26 – Questão 23 do FCI na versão padrão	92
Figura 27 – Questão 20 do FCI na versão padrão	94
Figura 28 – Slide de abertura da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	96
Figura 29 - Slide 2 e 3 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	99
Figura 30 - Slide 4 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	101
Figura 31 - Slide 5 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	101
Figura 32 - Slide 6 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	103
Figura 33 - Slide 7 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	105
Figura 34 - Slide 8 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	106
Figura 35 - Slide 9 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	108
Figura 36 - Slide 10 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	109
Figura 37 - Slide 11 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	110
Figura 38 - Slide 12 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	111
Figura 39 – Slide 13 (com vídeo) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	113
Figura 40 – Slides 14 e 15 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	114
Figura 41 - Slides 16 e 17 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	115
Figura 42 – Slide 18 (com vídeo) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	116
Figura 43 – Slides 19 e 20 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	117
Figura 44 – Slides 21 (parte a) e 22 (parte b) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	118
Figura 45 – Slides 23 e 24 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	119
Figura 46 – Slides 25 e 26 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	121
Figura 47 – Slide 27 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	122

Figura 48 – Slide 28 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	123
Figura 49 – Slide 29 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	124
Figura 50 – Slide 30 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	124
Figura 51 - Slide 31 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	125
Figura 52 – Slide 32 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	126
Figura 53 – Slide 33 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	127
Figura 54 – Slide 34 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	128
Figura 55 – Slide 35 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	128
Figura 56 – Slide 36 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton	129
Figura 57 – Slide 37 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.	130
Figura 58 – Resposta correta para a quarta questão da folha de atividades sobre a segunda lei de Newton.....	137
Figura 59 – Respostas apresentadas pelos estudantes (antes da discussão) à questão 4 da folha de atividades da intervenção sobre a segunda lei de Newton.....	138
Figura 60 - Resposta individual apresentada pelo aluno 2 à quarta questão da folha de atividades.....	139
Figura 61 - Gráfico correto esboçado pelo aluno 10 em resposta à quarta questão da folha de atividades, após as discussões em grupo	140
Figura 62 - Gráfico esboçado pelo aluno 16 em resposta à quarta questão da folha e atividades após as discussões.....	140
Figura 63 - Exemplo de cálculo incorreto da aceleração a partir do gráfico, realizado por um estudante, com ausência da unidade de medida da aceleração e determinação incorreta da variação da velocidade e do intervalo de tempo.....	144
Figura 64 – Exemplo de cálculo correto da aceleração a partir da segunda lei de Newton, efetuado por um estudante, para uma força de 0,096N e uma massa de 0,2999kg.....	145
Figura 65 - Exemplo de resposta correta para cálculo da aceleração a partir da segunda lei de Newton	146
Figura 66 – Slide 1 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	148
Figura 67 - Slide 2 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton	150
Figura 68 - Slide 3 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton	151
Figura 69 – Slide 4 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	152
Figura 70 – Slide 5 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	154
Figura 71 – Slide 6 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	155

Figura 72 – Slide 7 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	155
Figura 73 - Slide 8 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton	158
Figura 74 - Slide 9 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton	158
Figura 75 - Slide 10 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton	159
Figura 76 – Slide 11 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton	159
Figura 77 - Slide 12 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	161
Figura 78 – Slide 13 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	161
Figura 79 - Slides 14 e 15 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton	162
Figura 80 - Slide 16 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	164
Figura 81 – Slide 17 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	165
Figura 82 – Slide 18 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton	167
Figura 83 – Slide 19 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	168
Figura 84 – Slide 20 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	169
Figura 85 – Gráfico correto para a quarta questão da folha de atividades sobre a primeira lei de Newton.....	175
Figura 86 – Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades feito por um estudante antes das discussões em grupos.....	176
Figura 87 - Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades, feito por um estudante, antes das discussões em grupos.....	176
Figura 88 - Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades esboçado por um estudante antes das discussões em grupos.....	177
Figura 89 - Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades, esboçado por um discente (antes da discussão) que representa uma velocidade constante, porém inferior à que o bloco estava imediatamente antes de desencostar da mão	177
Figura 90 - Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades sobre a primeira lei de Newton, feito por um estudante (antes da discussão), representando uma velocidade que oscila ligeiramente em função do tempo, e não uma velocidade constante	178
Figura 91 - Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades, feito por um estudante (antes das discussões) que representa um comportamento inusitado para a velocidade, em vez de velocidade constante	178
Figura 92 - Primeiro teste conceitual da sequência didática sobre cinemática	181
Figura 93 - Segundo teste conceitual da sequência didática sobre cinemática	182
Figura 94 - Ilustração de uma fotografia estroboscópica do salto de um atleta.	183

Figura 95 – Terceiro teste conceitual da sequência didática sobre cinemática	183
Figura 96 - Quarto Terceiro teste conceitual projetado para os alunos durante a sequência didática sobre cinemática.....	184
Figura 97 - Sequência de fotografias estroboscópicas de uma bola de bilhar deslocando-se no sentido da seta.....	185
Figura 98 – Quinto teste conceitual da sequência didática sobre cinemática.....	186

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Os valores do parâmetro FCI (pré e pós) de diferentes populações e a “ <i>eficiência</i> ”	38
Tabela 2 - Taxonomia dos conceitos intuitivos do FCI.....	40
Tabela 3 - Síntese dos resultados obtidos com o <i>peer instruction</i> , ao longo de dez anos de experiência, na Universidade de Haward	47
Tabela 4 - Materiais utilizados nos experimentos das sequências didáticas sobre a primeira lei e a segunda lei de Newton e suas respectivas quantidades.....	67
Tabela 5 – Síntese dos resultados da análise das respostas dos alunos do CAp-COLUNI ao FCI aplicado no triênio 2018-2019.....	83
Tabela 6 – Acelerações do planador para cada movimento, calculadas a partir do gráfico de velocidade em função do tempo e pela segunda lei de Newton	143

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	15
1.1 OBJETIVOS	15
1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	16
2 FUNDAMENTOS DE MECÂNICA	17
2.1 CONCEPÇÕES ANTIGAS E MEDIEVAIS	17
2.1.1 A Mecânica Aristotélica	17
2.1.2 A Teoria do Ímpeto.....	19
2.2 A FORMULAÇÃO LAGRANGIANA DA MECÂNICA.....	21
2.2.1 Vínculos.....	21
2.2.2 Deslocamentos Virtuais	22
2.2.3 Trabalho Virtual	22
2.2.4 Princípio dos Trabalhos Virtuais	23
2.2.5 Princípio de D' Alembert	25
2.2.6 Coordenadas Generalizadas e Equações de Lagrange.....	25
2.2.7 A Equivalência das Equações de Newton e Lagrange	29
2.2.8 Pêndulo Duplo Plano: A Conveniência da Mecânica Lagrangiana.....	30
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	34
3.1 O ENSINO DE MECÂNICA	34
3.2 A TEORIA CONSTRUTIVISTA DE JEAN PIAGET	40
3.3 A TEORIA SOCIOCULTURAL DE LEV VYGOTSKY	41
3.4 METODOLOGIAS ATIVAS DE ENSINO.....	42
3.5 PRINCÍPIOS COGNITIVOS	50
3.5.1 O Nível de Dificuldade dos Problemas que as Pessoas Gostam de Trabalhar	50
3.5.2 O Modelo da Mente.....	51
3.5.3 O Poder de Criar a Expectativa de Avaliação	55
3.5.4 O Poder das Histórias	56
3.5.5 Prática Continuada, Espaçada e com Esforço: Implicações da Ciência Cognitiva para o Ensino	57
3.5.6 O Efeito da Avaliação Por Participação e Não Por Acerto	58
4 METODOLOGIA.....	60
4.1 CONCEPÇÃO DO ESTUDO E SUA EXECUÇÃO	60
4.2 AMBIENTAÇÃO DA PESQUISA.....	61

4.2.1 O CAp-Coluni	61
4.2.2 A Escola Estadual.....	62
4.3 A APLICAÇÃO DO FCI	63
4.4 A APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE CINEMÁTICA.....	63
4.5 A APLICAÇÃO DAS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS SOBRE A PRIMEIRA E A SEGUNDA LEI DE NEWTON	64
4.6 A ENTREVISTA COM A PROFESSORA DE FÍSICA DA ESCOLA ESTADUAL..	65
4.7 MÉTODOS EXPERIMENTAIS	65
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
5.1 LEVANTAMENTO DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS.....	77
5.1.1 No Ensino Superior	77
5.1.2 No Ensino Médio.....	80
5.2 SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS — uso, estrutura e objetivos instrucionais	94
5.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A SEGUNDA LEI DE NEWTON	96
5.3.1 A Sequência Didática Sobre a Segunda Lei de Newton e Sua Aplicação.....	96
5.3.2 Análise das Respostas dos Discentes na Sequência Didática Sobre a Segunda Lei de Newton.....	130
5.4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A PRIMEIRA LEI DE NEWTON	147
5.4.1 Sequência Didática Sobre a Primeira Lei de Newton — Roteiro e sua Aplicação	148
5.4.2 Análise das Respostas dos Discentes na Sequência Didática sobre a Primeira Lei de Newton	169
5.5 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE CINEMÁTICA	181
5.6 IMPRESSÕES PESSOAIS ACERCA DAS LEIS DE NEWTON	187
5.6.1 Impressões da Autora	187
5.6.2 Impressões da Professora Regente	189
6 CONCLUSÕES.....	192
REFERÊNCIAS	194
APÊNDICE A – Produto educacional	198
APÊNDICE B – Folha de atividades sobre a segunda lei de Newton	278
APÊNDICE C - Folha de atividades sobre a primeira lei de Newton	282

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Dentro do ensino de Física básica, o conteúdo de mecânica é possivelmente o mais desafiador. Com efeito, a literatura científica demonstra fartamente essa dificuldade, bem como a sua persistência, a despeito de diferentes tentativas para o seu enfrentamento. A pesquisa nesta área mostra que o estudante traz consigo ideias próprias (“concepções alternativas” ou “espontâneas”) sobre força e movimento, derivadas da sua vivência cotidiana, incompatíveis com a mecânica newtoniana e extremamente resistentes à mudança por meios dos processos tradicionais de ensino-aprendizagem (Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992; Pacca, 2018).

A mecânica, entretanto, é tipicamente a “porta de entrada” do estudante para o estudo formal da Física e o aprendizado nas etapas subsequentes da sua formação depende criticamente da base construída no estudo da mecânica. Portanto, o aprimoramento do ensino desse conteúdo é de importância capital.

A questão central que orienta este trabalho é: é possível impactar positivamente o ensino de mecânica, no Ensino Médio e universitário, por meio de sequências didáticas breves e impactantes, focalizadas em pontos reconhecidamente desafiadores para o estudante e fundamentadas no que há de mais consistente na literatura científica? Na esteira deste trabalho, além das sequências didáticas que constituem as intervenções, são elaboradas questões conceituais e uma lista de objetivos instrucionais sobre cinemática, força e leis de Newton.

Cabe destacar que um teste sistemático de efetividade, com pré e pós-teste aplicados a uma amostra estatisticamente significativa de estudantes, não foi contemplado nesta pesquisa, ficando como perspectiva para trabalhos futuros.

1.1 OBJETIVOS

Como mencionado, o propósito deste desta pesquisa é contribuir para tornar mais eficaz o ensino de mecânica newtoniana em nível introdutório. Mais especificamente, o trabalho trata da cinemática, do conceito de força e das leis de Newton. São levantados os pontos críticos do ensino desses conteúdos, ou seja, os tópicos de mais difícil aprendizagem e são desenvolvidas e testadas no Ensino Médio e Superior sequências didáticas para o seu enfrentamento. No contexto do ensino de mecânica, as sequências didáticas endereçam

também outro ponto importante - o “letramento científico” dos estudantes. Como se explicará no capítulo 3, os materiais didáticos são desenvolvidos a partir daquilo que se conhece de mais sólido sobre a ciência do ensino.

Em suma, os seguintes objetivos específicos deste projeto de pesquisa são:

- Determinar quais são os pontos específicos da mecânica newtoniana de mais difícil assimilação para alunos do Ensino Médio.
- Elaborar sequências didáticas efetivas para auxiliar o estudante em alguns desses pontos.
- Favorecer o letramento científico do estudante por meio das sequências didáticas mencionadas.

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Além desta introdução, esta dissertação está estruturada em mais cinco capítulos. O capítulo dois traz um resumo da mecânica lagrangiana e das concepções de Aristóteles e outros medievais acerca do movimento. O capítulo três sintetiza os fundamentos de ensino e aprendizagem que embasam a proposta, incluindo aportes da psicologia cognitiva e da pedagogia para o ensino. O quarto capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados, detalhando a ambientação da pesquisa, os participantes, a forma de aplicação do FCI e das sequências didáticas e os métodos experimentais empregados. O capítulo cinco apresenta e discute os resultados obtidos a partir da aplicação do FCI no CAP- COLUNI e da realização das sequências didáticas. Por último, o sexto capítulo traz as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros. Além disso, acompanha essa dissertação um produto didático independente: um guia prático para a utilização das sequências didáticas desenvolvidas.

2 FUNDAMENTOS DE MECÂNICA

Neste capítulo discute-se primeiramente a teoria aristotélica sobre o movimento e a sua reformulação na Idade Média. A compreensão dessas ideias é importante neste trabalho, na medida em que é importante que o professor ensine a partir do ponto em que estão os seus alunos. Como se verá ao longo desta dissertação, as concepções intuitivas dos estudantes modernos acerca da mecânica são extraordinariamente semelhantes às ideias pré-newtonianas. Na sequência do capítulo, é apresentada a formulação lagrangiana da mecânica.

2.1 CONCEPÇÕES ANTIGAS E MEDIEVAIS

A discussão a seguir das concepções aristotélicas e medievais concentra-se nos aspectos mais relevantes para este trabalho. Salvo menção contrária, ela se baseia na síntese de Halloun e Hestenes (1985a) e Hestenes, Wells e Swackhamer (1992).

2.1.1 A Mecânica Aristotélica

O movimento dos corpos é um fenômeno ubíquo. A busca por compreendê-lo – seja a trajetória aparentemente errática de uma folha ao vento ou o movimento perene e regular dos astros – constitui uma das mais antigas indagações da humanidade sobre o mundo natural. Os primórdios do estudo da mecânica, entendida aqui como a investigação sistemática e geral das causas e leis que regem o movimento e o repouso, mergulham suas raízes nas primeiras especulações filosóficas da Antiguidade. Apesar de existirem registros de estudos mais antigos, nessa acepção do termo, Aristóteles (384-322 a.C.) costuma ser considerado o fundador da mecânica (Bernal, 1964).

Aristóteles, seguindo a tradição platônica, dividia o universo em duas regiões – o mundo sublunar e o mundo supralunar – constituídas por elementos diferentes e regidas por princípios distintos. As ideias do filósofo sobre o movimento no mundo sublunar são as realmente relevantes para a compreensão dos conceitos intuitivos do aprendiz do nosso tempo e, portanto, são as abordadas abaixo. Esse mundo sublunar, imperfeito e mutável, seria composto pelos elementos terra, ar, água e fogo.

Aristóteles definiu o movimento como mudança de posição e percebeu a importância de adotar um referencial para analisá-lo. Para ele, o repouso era o “estado natural” de todo

objeto e, assim, todo movimento deveria ter uma causa. Ele reconheceu dois tipos de influência causadora, ou “força”. A primeira seria uma tendência natural, uma “*força inerente*” a cada objeto, que o levaria a buscar o seu “lugar natural”. A outra causa de movimento seria uma “*força ativa*” (puxão ou empurrão), exercida por algum agente (objeto ou meio).

A tendência de um objeto a se mover para o seu lugar natural, imposta pela sua força inerente, dependeria da composição desse objeto. Os corpos pesados, compostos predominantemente por terra e água, teriam a propriedade da “gravidade” e a tendência de se mover para o centro do universo, visto como o centro da Terra. Já os corpos constituídos principalmente por ar e fogo, seriam dotados de “leveza”, e a sua tendência seria afastar do centro do universo.

A única medida de movimento feita por Aristóteles era a velocidade média. Nesse caso, para um corpo que caiu uma distância D , em um intervalo de tempo T , a partir do repouso, sua velocidade v é dada por:

$$V = \frac{D}{T}. \quad (1)$$

Os estudos de Aristóteles sobre a resistência de um meio o levaram a concluir que a velocidade seria inversamente proporcional à resistência que, por sua vez, dependia do tamanho, da forma do corpo e da densidade do meio. Assim, para um corpo de peso P e movendo-se em um meio com resistência R a sua velocidade seria dada por:

$$V = \frac{P}{R}, \quad (2)$$

Essa equação é conhecida como lei de Aristóteles sobre a queda dos corpos. Dessa forma, a razão entre as velocidades de dois corpos de mesmo tamanho e forma que foram liberados ao mesmo tempo do repouso era dada pela equação:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{P_1}{P_2}, \quad (3)$$

que mostra que o corpo mais pesado cai mais rápido em proporção ao seu peso.

Aristóteles não reconhecia forças de longa distância, apenas forças de contato. Além disso, somente seres vivos poderiam exercer forças (ativas) em um corpo, seja pelo contato direto com ele, ou, indiretamente, por meio de uma conexão, como uma corda ou uma vareta. Os objetos inanimados, não exerceriam força sobre um corpo, porém eles seriam “obstáculos” que poderiam parar ou guiar o movimento de um corpo. Assim, por exemplo, uma mesa não exerceria força em um livro colocado sobre ela. A mesa seria um obstáculo que impediria a

passagem do livro, rumo ao seu lugar natural no centro da Terra.

Na visão de Aristóteles, uma força aplicada em um objeto somente o faria se mover, se ela superasse a “inércia” desse corpo, vista como uma resistência intrínseca, relacionada com a massa do corpo, então indistinguível do seu peso. Acreditava-se que uma força constante imprimiria ao objeto uma velocidade constante, que seria inversamente proporcional à resistência e esta dependeria tanto do meio onde está o corpo, como também da inércia (m) dele. Em termos quantitativos, isso pode ser resumido pela expressão que se segue, onde V é a velocidade do corpo, F a força que atua sobre ele e R é a resistência do objeto no meio em questão.

$$V = \frac{F}{R}, \quad (4)$$

Vale destacar que a lei de Aristóteles sintetizada na expressão anterior contrapõe-se à primeira e segunda leis de Newton. Na concepção aristotélica, a força que atua sobre um corpo determinaria a sua velocidade, não a sua aceleração. Um aumento na velocidade (aceleração) exigiria um aumento na força ou, no caso do movimento natural de queda de um corpo pesado, deveria haver aumento do peso. Por fim, não haveria movimento do corpo, se a força sobre ele fosse nula. Dessa forma, a explicação do movimento de um projétil, como o voo de uma flecha, exigia suposições adicionais. De fato, a partir do momento que a flecha perde contato com o arco e arqueiro, que força manteria o seu voo em curso? De acordo com a teoria, na ausência de uma força, a flecha deveria cair imediatamente em direção ao seu lugar natural. Em face dessa dificuldade, foi necessário atribuir propriedades ad hoc ao meio no qual o projétil se move. Aristóteles argumentou que havia duas maneiras por meio das quais o ar exerceria a força impulsora necessária para o movimento do projétil. Uma delas era através de um processo denominado “antiperistase”. Nele, o ar deslocado pela frente da flecha se movia ao longo dela e ocupava o “vazio” que ficava atrás. A outra forma considerava que no instante do lançamento uma camada de ar era movimentada para frente e esse movimento era transmitido para as camadas seguintes que, por fim, empurrariam o projétil (Zylberstajn, s/d).

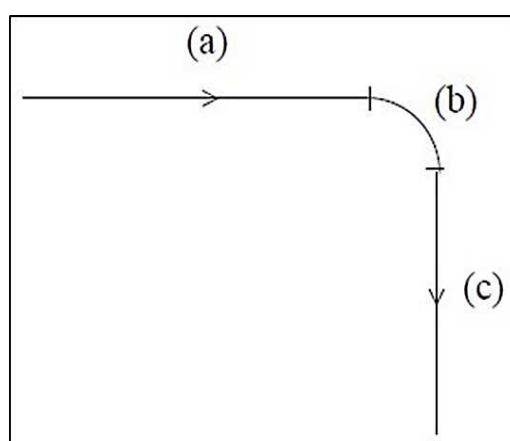
2.1.2 A Teoria do Ímpeto

A mecânica aristotélica prevaleceu praticamente inalterada por séculos até passar por uma revisão importante na Idade Média, fruto da crítica aos argumentos *ad hoc* necessários para explicar o movimento de projéteis.

Conforme discutido anteriormente, Aristóteles precisou atribuir poder motriz ao meio para explicar o movimento de objetos na ausência de um agente externo, tal como no voo de uma flecha. No entanto, essa ideia foi superada pela explicação elaborada por Johannes Philoponos de Alexandria (Halloun; Hestenes, 1985a). Ele acreditava que ao lançar um objeto, o lançador transmitia para ele uma força motriz imaterial que sustentaria o seu movimento e seria gradualmente dissipada pela resistência do meio. A essa força foi dado o nome de “ímpeto” por Jean Buridan que formulou definitivamente a teoria do ímpeto no século XIV.

Por meio da teoria do ímpeto de Buridan, Albert da Saxônia pôde explicar o movimento de projéteis. A figura 1 abaixo representa os três estágios da trajetória de um projétil após um lançamento horizontal conforme ele desenhou. No estágio (a), o ímpeto adquirido pelo projétil cancela os efeitos da gravidade e o projétil segue numa trajetória horizontal até que o ímpeto seja suficientemente diminuído pela resistência do ar. No estágio (b), a trajetória seguida pelo projétil é um resultado do efeito do ímpeto que sustenta o movimento horizontal e da gravidade que inclina o projétil a se mover para baixo. Essa trajetória persiste até que o ímpeto seja todo gasto e, por fim, o projétil caia em movimento natural conforme se vê no estágio (c). Esse raciocínio também é comum entre os estudantes de hoje (Halloun; Hestenes, 1985a).

Figura 1 — Os três estágios da trajetória de um projétil após um lançamento horizontal segundo Albert da Saxônia.



Fonte: HALLOUN e HESTENES, 1985a, figura 1, p.4.

Legenda: No trecho (a), em que a gravidade (direção vertical) é desprezível comparada ao ímpeto (direção horizontal), o projétil descreve uma trajetória horizontal, como se estivesse sobre ação somente do ímpeto. Em (b), quando o ímpeto começa a ser gasto e a ação da gravidade começa a se tornar evidente, o projétil descreve uma trajetória parabólica, sobre ação do ímpeto e da gravidade. Em (c), quando o ímpeto é completamente consumido, o projétil descreve uma trajetória vertical de queda, sobre a ação apenas da gravidade.

2.2 A FORMULAÇÃO LAGRANGIANA DA MECÂNICA

A formulação newtoniana da dinâmica, quando aplicada a sistemas mecânicos sujeitos a vínculos, exige variáveis redundantes e as forças de vínculo surgem explicitamente. Nesses casos, portanto, o uso da mecânica newtoniana não é vantajoso. Em contraste, a mecânica lagrangiana se destaca na análise desses sistemas. Ela permite obter as equações de movimento da maioria dos sistemas físicos tendo como ponto de partida uma única função escalar, expressa em termos de coordenadas independentes arbitrariamente escolhidas, sem a necessidade de considerar as forças de vínculo (Lemos, 2007). Portanto, a discussão sobre vínculos é de fundamental importância, pois é precisamente no tratamento de sistemas vinculados que a mecânica lagrangiana mostra sua maior eficácia.

2.2.1 Vínculos

Vínculos são restrições, de natureza cinemática, impostas às possíveis posições e velocidades de partículas que compõe sistemas mecânicos. Por essa razão, devem ser considerados na formulação das equações de movimento do sistema. A expressão natureza cinemática, indica que tais restrições não incluem aquelas que decorrem das equações de movimento. Assim, a limitação do movimento de uma partícula à superfície de um plano, quando resultado da ação de uma força central, não é exemplo de vínculo, pois esse plano pode assumir diferentes orientações, dependendo das condições iniciais dessa partícula. Note que essa situação é diferente de quando a partícula só pode se mover sobre um plano, caso que constitui um vínculo.

Sejam ξ_1, \dots, ξ_M , coordenadas arbitrárias que definem as posições das partículas em cada instante de tempo. Quando os vínculos do sistema podem ser expressos por uma equação da forma

$$f(\xi_1, \dots, \xi_M, t) = 0, \quad (5)$$

isto é, por uma função das coordenadas e, possivelmente, do tempo, tais vínculos são chamados holônomos.

Como exemplo, considere uma partícula restrita a mover-se sobre a superfície de uma esfera de raio R , centrada na origem de um sistema cartesiano no qual a esfera está fixa. Sejam x , y e z as coordenadas que definem a posição dessa partícula em relação a esse

sistema. Nesse caso, o vínculo pode ser escrito como $x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0$, que se enquadra na forma geral apresentada na equação 5.

Vínculos que não podem ser expressos conforme a equação (5) são denominados não-holônomos. Alguns vínculos podem ser representados pela seguinte expressão:

$$g(\xi_1, \dots, \xi_M, \dot{\xi}_1, \dots, \dot{\xi}_M, t) = 0. \quad (6)$$

À primeira vista, eles parecem ser não-holônomos. No entanto, se por meio de alguma integração for possível reduzi-los à forma da equação (5), então eles são holônomos (Lemos, 2007). Esses casos são típicos na dinâmica de corpos rígidos, quando há rolamento sem deslizamento (Vínculos – aula 2, 2010). Considere, por exemplo, o caso de um cilindro que deve rolar, mas sem deslizar, ao longo de uma trajetória retilínea. Seja x a posição do centro de massa do cilindro e θ o ângulo de rotação em torno desse centro. Nesse caso, a equação de vínculo é $\dot{x} - R\dot{\theta} = 0$, em que \dot{x} , R e $\dot{\theta}$ representam, respectivamente, a velocidade do centro de massa, o raio do cilindro e a velocidade angular do centro de massa. Através de uma integração, essa equação torna-se $x - r\theta = 0$, que também é da forma da equação 5 (Lemos, 2007).

2.2.2 Deslocamentos Virtuais

Considere um sistema mecânico constituído por N partículas. A posição de cada partícula em um dado instante de tempo define a configuração do sistema. Se essas partículas realizarem um deslocamento que:

- a. Seja infinitesimal,
- b. Ocorra no mesmo instante de tempo e
- c. Seja consistente com os vínculos,

esses deslocamentos são chamados virtuais. (Lemos, 2007)

A importância de introduzir o conceito de deslocamento virtual será explicada na próxima subseção.

2.2.3 Trabalho Virtual

A noção de deslocamento virtual é justificada pela observação de que o trabalho da força de vínculo é nulo durante um deslocamento virtual de partículas restritas a se mover sobre uma superfície sem atrito, seja ela móvel ou deformável.

Demonstração: Suponhamos que a partícula tenha realizado um deslocamento infinitesimal em sua posição. Para que ele seja virtual, é necessário ainda que ele aconteça no mesmo instante de tempo e não viole o vínculo, isto é, após o deslocamento a partícula deve continuar a sobre a superfície. Seja $f(\mathbf{r}, t) = 0$ a equação da superfície. Após o deslocamento, devemos ter:

$$f(\mathbf{r} + \delta\mathbf{r}, t) = 0$$

Usando expansão em série de Taylor, a equação anterior torna-se:

$$f(\mathbf{r}, t) + \nabla f \cdot \delta\mathbf{r} = 0$$

Mas, como $f(\mathbf{r}, t) = 0$, temos:

$$0 + \nabla f \cdot \delta\mathbf{r} = 0$$

$$\nabla f \cdot \delta\mathbf{r} = 0.$$

Como ∇f é perpendicular à superfície, segue que $\delta\mathbf{r}$ deve ser paralelo a ela para que a equação anterior seja satisfeita. Por outro lado, se a superfície é lisa, a força de contato entre ela e a partícula possui apenas a componente normal à superfície. Assim sendo, o trabalho da força de vínculo W_v é:

$$W_v = \mathbf{N} \cdot \delta\mathbf{r} = 0,$$

uma vez que a normal e o deslocamento virtual são perpendiculares entre si. ■

Na maioria dos sistemas físicos de interesse, o trabalho virtual total das forças de vínculo é zero. Esse resultado é explorado no princípio de D'Alembert, que constitui passo importante na obtenção das equações de Lagrange. Antes, porém, é crucial discutirmos sobre o princípio dos trabalhos virtuais, que será abordado na subseção seguinte. Vínculos cujas forças de vínculo não realizam trabalho durante deslocamentos virtuais são chamados de ideais (Lemos, 2007).

2.2.4 Princípio dos Trabalhos Virtuais

Conforme mencionado anteriormente, a abordagem de problemas por meio da mecânica newtoniana é, em alguns casos, inconveniente. De fato, para um sistema constituído de N partículas, a formulação newtoniana da dinâmica estabelece que a força resultante sobre a i -ésima partícula é dada por:

$$\mathbf{F}_i = m_i \cdot \ddot{\mathbf{r}}_i, \text{ com } i=1, \dots, N, \quad (7)$$

onde, m_i e $\ddot{\mathbf{r}}_i$ representam, respectivamente, a massa e a aceleração dessa partícula.

Por meio destas equações é possível obter única solução para os $\mathbf{r}_i(t)$, desde que sejam conhecidas todas as posições e velocidades num instante inicial de tempo. Se o problema houver vínculos, a formulação newtoniana frequentemente requer coordenada além do necessário para especificar a configuração do sistema em cada instante. Ademais, a força resultante sobre a i -ésima partícula pode ser decomposta em força aplicada ($\mathbf{F}_i^{(a)}$) e força de vínculo (\mathbf{f}_i), conforme mostra a equação abaixo:

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{F}_i^{(a)} + \mathbf{f}_i. \quad (8)$$

Mas, não conhecemos a expressão para a força de vínculo em função das posições e velocidades e sim os efeitos de tais forças. Adicionalmente, as leis de Newton não descrevem corretamente o movimento de sistemas vinculados. Por outro lado, o formalismo desenvolvido por Lagrange não envolve as forças de vínculo, e sim as forças aplicadas. Ele requer apenas as coordenadas suficientes para descrever a configuração do sistema. Ressalta-se que isso só é possível quando os vínculos são holônomos. Um passo fundamental para obter as equações de Lagrange é o princípio de D' Alembert. Por meio dele é possível obter as equações de movimento a partir apenas das forças aplicadas excluindo, portanto, as forças de vínculo.

Considere um sistema mecânico composto por N partículas. No caso estático, tem-se:

$$\mathbf{F}_i = 0. \quad (9)$$

Daí segue que:

$$\sum_i \mathbf{F}_i \cdot \delta \mathbf{r}_i = 0, \quad (10)$$

para qualquer $\delta \mathbf{r}_i$.

Substituindo a equação (8) ($\mathbf{F}_i = \mathbf{F}_i^{(a)} + \mathbf{f}_i$) na equação (10), temos:

$$\begin{aligned} \sum_i (\mathbf{F}_i^{(a)} + \mathbf{f}_i) \cdot \delta \mathbf{r}_i &= 0 \\ \sum_i \mathbf{F}_i^{(a)} \cdot \delta \mathbf{r}_i + \sum_i \mathbf{f}_i \cdot \delta \mathbf{r}_i &= 0 \end{aligned}$$

Restringindo, sem perda significativa de generalidade, aos casos para os quais o trabalho virtual das forças de vínculo é zero, a equação anterior reduz-se a:

$$\sum_i \mathbf{F}_i^{(a)} \cdot \delta \mathbf{r}_i = 0, \quad (11)$$

que é o princípio dos trabalhos virtuais (Lemos, 2007). De acordo com ele, um sistema mecânico está em equilíbrio quando o trabalho virtual de todas as forças aplicadas que atuam sobre ele for nulo (Cindra, 2008).

2.2.5 Princípio de D' Alembert

Na subseção anterior foi visto que, um sistema mecânico sujeito a vínculos está em equilíbrio se, e somente se, o trabalho virtual total das forças aplicadas sobre ele for nulo (CINDRA, 2008). No caso dinâmico, tem-se:

$$\mathbf{F}_i = \dot{\mathbf{p}}_i. \quad (12)$$

D' Alembert percebeu que a equação anterior poderia ser reescrita como:

$$\mathbf{F}_i - \dot{\mathbf{p}}_i = 0, \quad (13)$$

Ou, ainda que, uma partícula desse sistema está em “equilíbrio” se a força resultante sobre ela for igual à soma de uma força real com uma força efetiva invertida, $-\dot{\mathbf{p}}_i$. A força efetiva é fictícia e só existe no referencial no qual a partícula está em repouso, ou seja, que se move com ela. Assim sendo, ficamos com:

$$\sum_i (\dot{\mathbf{p}}_i - \mathbf{F}_i) \cdot \delta \mathbf{r}_i = 0, \quad (14)$$

no lugar da equação (10). Substituindo a equação (8) na equação (14) e usando que o trabalho virtual das forças de vínculo é nulo, obtém-se:

$$\sum_i (\dot{\mathbf{p}}_i - \mathbf{F}_i^{(a)}) \cdot \delta \mathbf{r}_i = 0, \quad (15)$$

equação conhecida como o princípio de D' Alembert. Ele é uma extensão do princípio dos trabalhos virtuais aos casos em que o sistema está em movimento. Conforme se pode notar, ele não envolve as forças de vínculo. Por isso, em problemas sujeitos a vínculos, ele é um avanço quando comparado à mecânica newtoniana. No entanto, os $\delta \mathbf{r}_i$ não são independentes, uma vez que devem respeitar os vínculos (Lemos, 2007).

2.2.6 Coordenadas Generalizadas e Equações de Lagrange

Conforme mencionado anteriormente, buscamos uma formulação da mecânica clássica mais adequada que a newtoniana para trabalhar com sistemas mecânicos envolvendo vínculos. Queremos excluir as forças de vínculo e utilizar apenas as coordenadas necessárias para especificar a configuração do sistema. Como visto na subseção anterior, o princípio de D' Alembert permite obter as equações de movimento em termos apenas das forças aplicadas, sem envolver as forças de vínculo. No entanto, ele ainda requer o uso de várias coordenadas uma vez que os $\delta \mathbf{r}_i$ não são independentes e, em muitos casos, nem os \mathbf{r}_i (Lemos, 2007).

Para expressar os deslocamentos virtuais do princípio de D' Alembert em termos de deslocamentos independentes, será introduzido o conceito de coordenadas generalizadas.

Veremos que o princípio de D' Alembert, quando escrito em termos dessas coordenadas, constituem as equações de Lagrange (Princípio de d' Alembert– aula 3, 2010).

Considere uma partícula se movendo no espaço. O vetor posição dessa partícula num sistema de coordenadas retangulares é dado por $\mathbf{r} = x\hat{\mathbf{x}} + y\hat{\mathbf{y}} + z\hat{\mathbf{z}}$. Para especificar a posição dessa partícula são necessárias três coordenadas: x, y e z. Assim, para um sistema mecânico composto por N partículas, são necessárias 3N coordenadas. No entanto, em alguns casos, é possível especificar a configuração de um sistema usando um número menor de coordenadas.

Para sistemas sujeitos a p vínculos, há $n = 3N - p$ graus de liberdade. No caso de um sistema holônomo, é possível introduzir um conjunto de n variáveis que atendam as seguintes condições:

- São mutuamente independentes.
- Descrivam completamente a configuração do sistema.
- Não violem os vínculos.

Essas variáveis podem ser posição, velocidade, entre outras coisas. Devido à diversidade de representações possíveis, elas são denominadas coordenadas generalizadas e simbolizadas de forma neutra por q_1, \dots, q_N . É chamado de espaço de configuração aquele que tem as coordenadas generalizadas como eixos coordenados. Em algumas situações, também é chamado de variedade de configuração, pois sua estrutura matemática é de variável diferenciável (Lemos, 2007). Em termos das coordenadas generalizadas, o vetor posição da i-ésima é expresso como:

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{r}_i(q_1, \dots, q_N, t). \quad (16)$$

Após a introdução das coordenadas generalizadas, podemos reconsiderar o princípio de D' Alembert. Em uma de suas parcelas, temos:

$$\sum_{i=1}^N \mathbf{F}_i^{(a)} \cdot \delta \mathbf{r}_i, \quad (17)$$

lembrando que as forças de vínculo não aparecem neste princípio, adotamos $\mathbf{F}_i^{(a)} = \mathbf{F}_i$. Por outro lado, podemos expressar os deslocamentos virtuais $\delta \mathbf{r}_i$ em termos dos deslocamentos virtuais independentes δq_k através da seguinte equação:

$$\delta \mathbf{r}_i = \sum_{k=1}^n \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \delta q_k. \quad (18)$$

Substituindo a equação anterior na equação (17), temos:

$$\sum_{i=1}^N \mathbf{F}_i \cdot \delta \mathbf{r}_i = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n \mathbf{F}_i \cdot \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \delta q_k. \quad (19)$$

Seja

$$Q_k = \sum_{i=1}^N \mathbf{F}_i \cdot \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \quad (20)$$

a k-ésima componente da força generalizada. Substituindo (20) em (19), obtemos a seguinte expressão para o trabalho virtual das forças aplicadas:

$$\sum_{i=1}^N \mathbf{F}_i \cdot \delta \mathbf{r}_i = \sum_{k=1}^n Q_k \delta q_k \quad (21)$$

Embora Q_k nem sempre tenha dimensão de força e δq_k nem sempre tenha dimensão de comprimento o produto $Q_k \delta q_k$ sempre tem dimensão de trabalho. Consideremos agora a outra parcela do princípio de D'Alembert:

$$\sum_{i=1}^N \dot{\mathbf{p}}_i \cdot \delta \mathbf{r}_i \quad (22)$$

Substituindo

$$\dot{\mathbf{p}}_i = m_i \dot{\mathbf{v}}_i \quad (23)$$

e a equação (18) na equação (22), obtemos:

$$\sum_{i=1}^N \dot{\mathbf{p}}_i \cdot \delta \mathbf{r}_i = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n m_i \dot{\mathbf{v}}_i \cdot \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \delta q_k. \quad (24)$$

Mas,

$$\sum_{i=1}^N m_i \dot{\mathbf{v}}_i \cdot \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} = \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{d}{dt} \left(m_i \mathbf{v}_i \cdot \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) - m_i \mathbf{v}_i \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) \right\} \quad (25)$$

Substituindo (25) em (24):

$$\sum_{i=1}^N \dot{\mathbf{p}}_i \cdot \delta \mathbf{r}_i = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{d}{dt} \left(m_i \mathbf{v}_i \cdot \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) - m_i \mathbf{v}_i \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) \right\} \delta q_k. \quad (26)$$

Mas,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) = \sum_{l=1}^n \frac{\partial}{\partial q_l} \left(\frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) \dot{q}_l + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) = \frac{\partial}{\partial q_k} \left(\sum_{l=1}^n \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_l} \dot{q}_l + \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial t} \right) = \frac{\partial \mathbf{v}_i}{\partial q_k} \quad (27)$$

Substituindo (27) em (26):

$$\sum_{i=1}^N \dot{\mathbf{p}}_i \cdot \delta \mathbf{r}_i = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{d}{dt} \left(m_i \mathbf{v}_i \cdot \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) - m_i \mathbf{v}_i \cdot \left(\frac{\partial \mathbf{v}_i}{\partial q_k} \right) \right\} \delta q_k. \quad (28)$$

Derivando (16) com relação ao tempo obtemos a seguinte expressão:

$$\mathbf{v}_i = \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} = \sum_{k=1}^n \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \dot{q}_k + \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial t} \quad (29)$$

Donde deduzimos que:

$$\frac{\partial \mathbf{v}_i}{\partial q_k} = \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k}. \quad (30)$$

Substituindo a equação (30) na equação (28), temos:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \dot{\mathbf{p}}_i \cdot \delta \mathbf{r}_i &= \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{d}{dt} \left(m_i \dot{\mathbf{v}}_i \cdot \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k} \right) - m_i \dot{\mathbf{v}}_i \cdot \left(\frac{\partial \mathbf{v}_i}{\partial q_k} \right) \right\} \delta q_k = \\ &= \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial}{\partial \dot{q}_k} \left(\frac{1}{2} m_i \dot{\mathbf{v}}_i^2 \right) \right] - \frac{\partial}{\partial q_k} \left(\frac{1}{2} m_i \dot{\mathbf{v}}_i^2 \right) \right\} \delta q_k \end{aligned} \quad (31)$$

A energia cinética total do sistema é dada por:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N m_i \mathbf{v}_i^2 \quad (32)$$

Substituindo a equação (32) na equação (31), obtemos:

$$\sum_{i=1}^N \dot{\mathbf{p}}_i \cdot \delta \mathbf{r}_i = \sum_{k=1}^n \left[\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} \right] \delta q_k. \quad (33)$$

Substituindo as equações (33) e (21) no princípio de D' Alembert, temos:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n \left[\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} \right] \delta q_k - \sum_{k=1}^n Q_k \delta q_k &= 0 \\ \sum_{k=1}^n \left[\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} - Q_k \right] \delta q_k &= 0 \end{aligned}$$

Como os δq_k são todos independentes, a equação anterior só é satisfeita se:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_k} - Q_k = 0; \quad k=1, \dots, n. \quad (34)$$

Essas equações permanecem válidas mesmo na ausência de vínculos. Nesses casos, elas são equivalentes à segunda lei de Newton quando escrita em termos de coordenadas curvilíneas arbitrárias. Embora essas equações sejam conhecidas como equações de Lagrange, essa designação será usada para o caso em que as forças aplicadas derivam de um potencial. Quando as forças aplicadas \mathbf{F}_i derivam de um potencial $V = V(\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N, t)$, temos:

$$\mathbf{F}_i = -\nabla_i V = -\frac{\partial V}{\partial x_i} \hat{\mathbf{x}} - \frac{\partial V}{\partial y_i} \hat{\mathbf{y}} - \frac{\partial V}{\partial z_i} \hat{\mathbf{z}} \quad (35)$$

Substituindo a equação (35) na equação (20), obtemos:

$$Q_k = - \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial V}{\partial x_i} \hat{\mathbf{x}} + \frac{\partial V}{\partial y_i} \hat{\mathbf{y}} + \frac{\partial V}{\partial z_i} \hat{\mathbf{z}} \right) \cdot \frac{\partial \mathbf{r}_i}{\partial q_k}$$

Isso se simplifica para:

$$\begin{aligned} Q_k &= - \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial V}{\partial x_i} \frac{\partial x_i}{\partial q_k} + \frac{\partial V}{\partial y_i} \frac{\partial y_i}{\partial q_k} + \frac{\partial V}{\partial z_i} \frac{\partial z_i}{\partial q_k} \right) \\ Q_k &= - \frac{\partial V}{\partial q_k} \end{aligned} \quad (36)$$

Substituindo a equação (36) na equação (34), obtemos:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial (T - V)}{\partial q_k} = 0. \quad (37)$$

Como $\frac{\partial V}{\partial \dot{q}_k} = 0$ (pois o potencial independe de \dot{q}_k), podemos reescrever a equação anterior como:

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial (T - V)}{\partial \dot{q}_k} \right] - \frac{\partial (T - V)}{\partial q_k} = 0. \quad (38)$$

Seja

$$L=T-V \quad (39)$$

a função de Lagrange conhecida também por lagrangiana. Nesse caso, (38) transforma-se em:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_k} = 0 \text{ com } k=1, \dots, n, \quad (40)$$

que são as equações de Lagrange. Conforme evidenciado, elas são um conjunto de n equações diferenciais ordinárias de segunda ordem. Por meio delas é possível determinar os $q_k(t)$, desde que sejam dados os valores de $q_1(t_0), \dots, q_n(t_0), \dot{q}_1(t_0), \dots, \dot{q}_n(t_0)$. Substituindo os $q_k(t)$ na equação (16), podemos definir a configuração do sistema mecânico em qualquer instante de tempo (Lemos, 2007).

Em contraste com o formalismo de Newton que requer variáveis redundantes, envolve as forças de vínculo e lida com quantidades vetoriais (força e aceleração), as equações de Lagrange proporcionam uma abordagem mais eficiente para obter as equações de movimento de sistemas mecânicos. Elas empregam apenas as coordenadas essenciais para especificar a configuração do sistema mecânico e não incluem as forças de vínculo. Ademais, elas envolvem apenas grandezas escalares, a saber, energia cinética e potencial, o que facilita a resolução dos problemas. Além disso, elas são válidas para coordenadas generalizadas arbitrárias, escolhidas de acordo com o problema e conveniência (Lemos, 2007).

É crucial observar que, tanto a energia cinética quanto a potencial devem ser escritas em relação a um mesmo referencial inercial, uma vez que, para deduzir as equações de Lagrange tivemos como ponto de partida a segunda lei de Newton (Lemos, 2017). É importante ressaltar que o formalismo desenvolvido por Lagrange não constitui uma nova formulação da mecânica newtoniana, mas é equivalente a ela (Thornton; Marion, 2011), como será demonstrado na próxima subseção.

2.2.7 A Equivalência das Equações de Newton e Lagrange

Considere, por simplicidade, apenas uma partícula. Neste caso, as equações de Lagrange (40) quando expressas em termos de coordenadas retangulares convertem-se em:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}_k} \right) - \frac{\partial L}{\partial x_k} = 0; k=1, \dots, n. \quad (41)$$

Substituindo na equação anterior a expressão da lagrangiana (equação (39)), tem-se:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial (T - V)}{\partial \dot{x}_k} - \frac{\partial (T - V)}{\partial x_k} = 0 \quad (42)$$

Para sistemas conservativos a energia cinética é $T=T(\dot{x}_k)$ e a energia potencial é $V=V(x_k)$ quando escritas nas coordenadas retangulares. Daí segue que:

$$\frac{\partial T}{\partial x_k} = 0 \quad (43)$$

e

$$\frac{\partial V}{\partial \dot{x}_k} = 0 \quad (44)$$

Com auxílio das equações (43) e (44), a equação (42) reduz-se a:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_k} + \frac{\partial V}{\partial x_k} &= 0 \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_k} &= - \frac{\partial V}{\partial x_k} \end{aligned} \quad (45)$$

A energia cinética é dada por:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^3 m \dot{x}_k^2. \quad (46)$$

Logo,

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_k} = m \dot{x}_k. \quad (47)$$

Para sistemas conservativos, tem-se que:

$$F_k = - \frac{\partial V}{\partial x_k} \quad (48)$$

Substituindo (47) e (48) em (45), obtém-se:

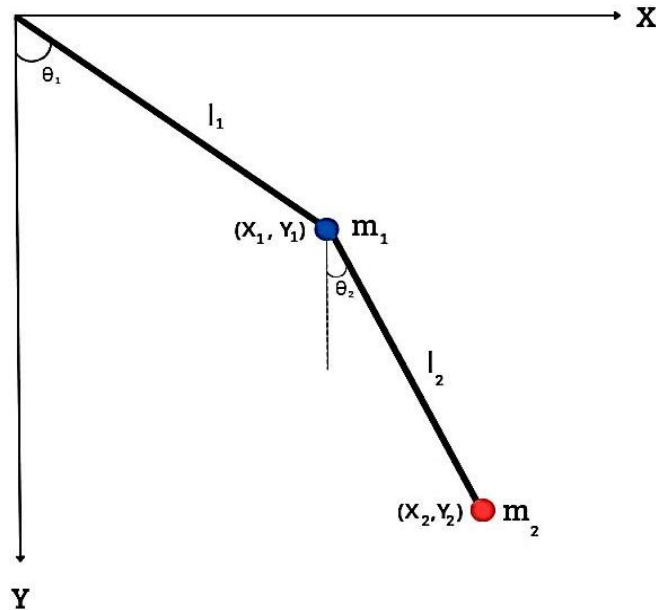
$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} (m \dot{x}_k) &= F_k \\ m \ddot{x} &= F_k; k=1, \dots, 3. \end{aligned} \quad (49)$$

Essas são as equações de Newton (Thornton; Marion, 2011).

2.2.8 Pêndulo Duplo Plano: A Conveniência da Mecânica Lagrangiana

Como mencionado na introdução da seção 2.2, a mecânica lagrangiana é especialmente útil para obter as equações de movimento de sistemas mecânicos sujeitos a vínculos (Lemos, 2007). Para exemplificar essa utilidade, considere o caso pendulo duplo, representado na figura 2 abaixo.

Figura 2 — Pêndulo duplo plano



Fonte: Própria autora.

Legenda: Na imagem, m_1 e m_2 representam, respectivamente, as massas das esferas 1 e 2. Os pontos (x_1, y_1) , e (x_2, y_2) , indicam as posições das esferas 1 e 2 no sistema de coordenadas cartesiano ilustrado. Os comprimentos das hastes são dados por l_1 , entre a esfera 1 e o teto; e l_2 , entre as esferas 1 e 2. Os ângulos θ_1 (entre a haste 1 e a vertical) e θ_2 (entre a haste 2 e a vertical) correspondem às coordenadas generalizadas utilizadas para descrever o sistema.

Para simplificação, restringiremos o movimento do pêndulo ao plano vertical. Além disso, será assumido que as hastes, com comprimentos l_1 e l_2 , são rígidas e desprovidas de massa. A aceleração da gravidade local será representada por g . O número de coordenadas generalizadas necessárias para resolver esse problema é dado por:

$$n = 2N - p \quad (50)$$

Como o sistema é composto por duas partículas (as massas m_1 e m_2), tem-se $N=2$. Por outro lado, o pêndulo possui dois vínculos (a distância de m_1 ao ponto de suspensão do pêndulo deve ser igual a l_1 e a distância entre m_1 e m_2 deve ser igual a l_2), logo $p=2$. Assim, segue que $n=2$. Sejam θ_1 e θ_2 essas coordenadas. No referencial inercial (x, y) , a energia cinética do sistema é expressa por:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 m_i v_i^2 = \frac{1}{2} (m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2) = \frac{1}{2} m_1 (\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) + \frac{1}{2} m_2 (\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2). \quad (51)$$

Pela figura 2 acima, tem-se que:

$$x_1 = l_1 \sin \theta_1, \quad (52)$$

$$y_1 = l_1 \cos \theta_1, \quad (53)$$

$$x_2 = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_2 \quad (54)$$

$$y_2 = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_2. \quad (55)$$

Logo:

$$\dot{x}_1 = l_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 \quad (56)$$

$$\dot{y}_1 = -l_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \quad (57)$$

$$\dot{x}_2 = l_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 + l_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \quad (58)$$

$$\dot{y}_2 = -l_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 - l_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \quad (59)$$

Elevando ao quadrado as equações (56), (57), (58) e (59), obtém-se:

$$\dot{x}_1^2 = l_1^2 \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_1, \quad (60)$$

$$\dot{y}_1^2 = l_1^2 \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_1, \quad (61)$$

$$\dot{x}_2^2 = l_1^2 \dot{\theta}_1^2 \cos^2 \theta_1 + 2l_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 l_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 + l_2^2 \dot{\theta}_2^2 \cos^2 \theta_2 \quad (62)$$

$$\dot{y}_2^2 = l_1^2 \dot{\theta}_1^2 \sin^2 \theta_1 + 2l_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 l_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 + l_2^2 \dot{\theta}_2^2 \sin^2 \theta_2. \quad (63)$$

Ao substituir as equações (60) a (63) na equação (51), a expressão resultante para a energia cinética é a seguinte:

$$T = \frac{1}{2} [m_1 l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + m_2 l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + 2m_2 l_1 \dot{\theta}_1 \cos \theta_1 l_2 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 + 2m_2 l_1 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 l_2 \dot{\theta}_2 \sin \theta_2 + m_2 l_2^2 \dot{\theta}_2^2]$$

$$T = \frac{(m_1 + m_2)}{2} l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + m_2 l_1 \dot{\theta}_1 l_2 \dot{\theta}_2 (\underbrace{\cos \theta_1 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \sin \theta_2}_{=\cos(\theta_1 - \theta_2)}) + \frac{m_2}{2} l_2^2 \dot{\theta}_2^2$$

$$T = \frac{(m_1 + m_2)}{2} l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + m_2 l_1 \dot{\theta}_1 l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) + \frac{m_2}{2} l_2^2 \dot{\theta}_2^2. \quad (64)$$

Definindo o zero da energia potencial no plano de fixação do pêndulo, obtemos a seguinte expressão para a energia potencial do sistema:

$$V = -\sum_{i=1}^2 m_i g y_i = -m_1 g y_1 - m_2 g y_2. \quad (65)$$

Substituindo y_1 e y_2 pelas equações (53) e (55), respectivamente, a equação anterior se transforma em:

$$V = -(m_1 + m_2) g l_1 \cos \theta_1 - m_2 g l_2 \cos \theta_2. \quad (66)$$

Utilizando as equações (64) e (66), a lagrangiana $L=T-V$ é expressa por:

$$L = \frac{(m_1 + m_2)}{2} l_1^2 \dot{\theta}_1^2 + m_2 l_1 \dot{\theta}_1 l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) + \frac{m_2}{2} l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + (m_1 + m_2) g l_1 \cos \theta_1 + m_2 g l_2 \cos \theta_2. \quad (67)$$

Portanto,

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} = (m_1 + m_2)l_1^2 \dot{\theta}_1 + m_2 l_1 l_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad (68)$$

e

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_1} = -m_2 l_1 \dot{\theta}_1 l_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) - (m_1 + m_2)gl_1 \sin\theta_1. \quad (69)$$

Substituindo (68) e (69) na equação (70) abaixo,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_1} = 0 \quad (70)$$

obtem-se:

$$\begin{aligned} & (m_1 + m_2)l_1^2 \ddot{\theta}_1 + m_2 l_1 l_2 [\ddot{\theta}_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) - \dot{\theta}_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) \cdot (\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2)] \\ & + m_2 l_1 \dot{\theta}_1 l_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) + (m_1 + m_2)gl_1 \sin\theta_1 = 0 \\ \\ & (m_1 + m_2)l_1^2 \ddot{\theta}_1 + m_2 l_1 l_2 \ddot{\theta}_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) + m_2 l_1 l_2 \dot{\theta}_2^2 \sin(\theta_1 - \theta_2) + \\ & (m_1 + m_2)gl_1 \sin\theta_1 = 0. \end{aligned} \quad (71)$$

Esta é a primeira das equações de Lagrange.

Por outro lado,

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} = m_2 l_1 \dot{\theta}_1 l_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) + m_2 l_2 \dot{\theta}_2 \quad (72)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_2} = m_2 l_1 \dot{\theta}_1 l_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) - m_2 gl_2 \sin\theta_2 \quad (73)$$

Com isso,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_2} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_2} = 0 \quad (74)$$

torna-se:

$$\begin{aligned} & m_2 l_1 l_2 [\dot{\theta}_1 \cos(\theta_1 - \theta_2) - \dot{\theta}_1 \sin(\theta_1 - \theta_2) (\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2)] + m_2 l_2 \ddot{\theta}_2 - m_2 l_1 \dot{\theta}_1 l_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_1 - \theta_2) \\ & + m_2 gl_2 \sin\theta_2 = 0 \end{aligned}$$

$$m_2 l_1 l_2 \ddot{\theta}_1 \cos(\theta_1 - \theta_2) - m_2 l_1 l_2 \dot{\theta}_1^2 \sin(\theta_1 - \theta_2) + m_2 l_2 \ddot{\theta}_2 + m_2 gl_2 \sin\theta_2 = 0, \quad (75)$$

que é a segunda das equações de lagrange. Através deste exemplo, ilustra-se como a formulação lagrangiana pode facilitar significativamente a análise de sistemas com vínculos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

As sequências didáticas produzidas neste trabalho foram elaboradas sobre a base sólida de resultados bem-estabelecidos na literatura científica, com o propósito de auxiliar o estudante a incorporar na sua estrutura cognitiva princípios newtonianos especialmente desafiadores.

O objetivo deste capítulo é duplo. Primeiramente, traçamos um breve cenário da pesquisa sobre o ensino de mecânica para destacar as dificuldades mais agudas vivenciadas pelo aprendiz e mais adiante (seção 4.1) apontar aquelas que este trabalho propõe enfrentar. Em segundo lugar, discutimos os princípios, métodos e instrumentos pedagógicos sobre os quais o este material didático foi construído. Em particular, são discutidos alguns métodos ativos, tanto os seus fundamentos, como também os resultados da sua aplicação. São também apresentados princípios da psicologia cognitiva que foram utilizados neste trabalho. Cabe esclarecer que o objetivo da autora não é apresentar uma revisão completa e erudita da literatura sobre esses tópicos, mas antes, sintetizar pragmaticamente os aspectos deles que são importantes para este trabalho, utilizando apenas as fontes que julgamos tratá-los de forma mais clara e/ou sintética.

3.1 O ENSINO DE MECÂNICA

Provavelmente, todo professor de Física se surpreende com frequência com os equívocos que os seus estudantes cometem ao tratar de situações e problemas da sua disciplina que ele considera triviais, em vista daquilo que procurou ensinar. No caso de questões sobre o movimento, é comum que o aluno, apesar de saber enunciar as leis de Newton perfeitamente, use nas suas respostas ideias reminiscentes das concepções aristotélicas e medievais discutidas na seção 2.1. Uma série longa e importante de pesquisas sobre o ensino de Física, iniciada na década de 1970 (Viennot, 1979; Clement, 1982; Halloun; Hestenes, 1985a, 1985b; Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992), revelou que muitos desses erros decorrem do uso pelo estudante de um modelo próprio (uma teoria pessoal) sobre os fenômenos físicos, criado a partir da sua experiência cotidiana com eles. Esse conjunto de crenças e intuições, incompatíveis com o conhecimento científico estabelecido, vem sendo estudado ao longo de quatro décadas. Ele é denominado “concepção alternativa”, “concepção espontânea”, “concepção intuitiva”, ou “teoria de senso comum” (Pacca, 2018).

Esse trabalho de pesquisa mostrou que as concepções alternativas relacionadas com a mecânica newtoniana são extremamente resistentes à mudança por meio das abordagens didáticas tradicionais, que não as levam em conta, independentemente da habilidade do professor (Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992).

Um exemplo ajuda a tornar essas descobertas mais concretas. A figura 3 contém uma questão apresentada no trabalho pioneiro de Viennot (1979), numa versão adaptada por Pacca (2018). Na sua proposição original, o autor pergunta apenas se as forças nas seis bolas são, ou não, todas iguais. A questão foi submetida a alunos que já haviam estudado o conteúdo relacionado com as leis de Newton e movimento de projéteis. Assim, o leitor provavelmente esperaria uma resposta certa – as forças nas seis bolas (o peso) são todas iguais. Entretanto, dentre os 29 estudantes secundaristas no estudo de Viennot, apenas 39% responderam dessa forma. Entre os 262 universitários (no primeiro ano de curso), 46% responderam corretamente. De modo semelhante, no estudo de Pacca, 53% dos alunos do Ensino Médio (1ª e 2ª séries) afirmaram que as forças eram iguais. Nos dois experimentos, assim como em outros do mesmo tipo, as justificativas apresentadas sugeriam que a maioria daqueles que erraram a questão acreditava em uma “lei intuitiva”, segundo a qual a velocidade de um corpo seria proporcional à força resultante que atua sobre ele: $\vec{F} = \alpha \vec{v}$, sendo α uma constante. Assim, se a velocidade é nula, a força resultante também o seria e um corpo só poderia estar em movimento, se atuasse sobre ele uma força resultante não-nula. Ademais, uma força resultante maior produziria uma velocidade maior do que aquela que resultaria de uma força menor, no mesmo corpo. Vê-se aqui a teoria de Aristóteles (subseção 2.1.1) ressurgir, milênios mais tarde, no discurso de estudantes que presumivelmente desconheciam o pensamento do filósofo, porém compartilharam com ele a observação do movimento das coisas que nos cercam.

Figura 3 – Problema do malabarista

PROBLEMA DO MALABARISTA

Um malabarista está brincando com seis bolas idênticas: 1, 2, 3, 4, 5, 6. Em certo instante, as seis bolas encontram-se no ar à mesma altura, e suas trajetórias com as respectivas velocidades estão representadas na figura. Nas trajetórias, foram representados os vetores velocidade, nesse instante t , para cada uma das seis bolas.

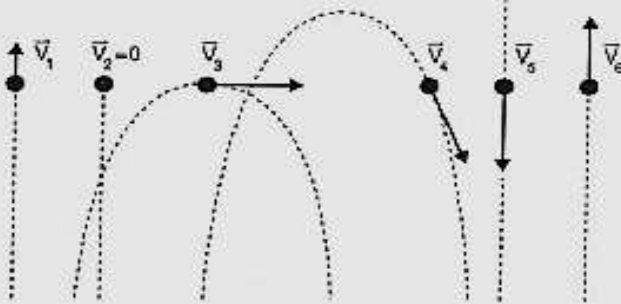


FIGURA 2 - TRAJETÓRIAS E VELOCIDADES DAS BOLAS NO INSTANTE t

Q1. Desprezando a resistência do ar, qual das alternativas se refere às forças que agem nas bolas?

- São todas iguais.
- São todas diferentes.
- Algumas são iguais, outras diferentes.
- Os dados fornecidos são insuficientes para responder.

Justifique sua resposta.

Fonte: PACCA, 2018, p. 43

O conhecimento das concepções espontâneas fornece ao professor uma base para compreender os equívocos e dificuldades dos seus estudantes. Além disso, permite que ele elabore alternativas pedagógicas mais efetivas. Assim, um exame detalhado dessas concepções no campo da mecânica é de extrema importância para o presente trabalho. As pesquisas de Halloun e Hestenes (1985a, 1985b), e de Hestenes, Wells e Swackhamer (1992), não apenas sistematizaram os estudos da década anterior nessa área, como também criaram e validaram um instrumento objetivo para sondar o estado do conhecimento de mecânica de estudantes universitários e secundaristas. Trata-se do célebre questionário denominado “*Force Concept Inventory*” (FCI), em português “*Inventário Sobre O Conceito*

de Força”. Seguem destaques da pesquisa de Hestenes.

O “*Force Concept Inventory*” (FCI) (Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992) é um teste de múltipla escolha, elaborado para acessar o entendimento do estudante sobre os conceitos básicos da mecânica newtoniana. Pode-se dizer que ele equivale a um “raio X do entendimento da mecânica newtoniana” na medida que revela quais dos seus pilares são, ou não, parte da estrutura cognitiva do aluno. Os conceitos newtonianos sondados se restringem aos seguintes tópicos: cinemática, primeira lei de Newton, segunda lei de Newton, terceira Lei de Newton, princípio de superposição e tipos de força. O FCI contém 30 questões qualitativas, cada uma com cinco opções de resposta – uma alternativa newtoniana (correta) e quatro distratores baseados nas concepções espontâneas mapeadas na literatura. Todas as questões tratam de situações concretas e são elaboradas de modo que a sua resposta não dependa da memorização de fórmulas, nem do conhecimento do vocabulário técnico do campo.

O FCI foi desenvolvido a partir de um precursor (Halloun; Hestenes, 1985a, 1985b), o “*Mechanics Diagnostic Test*” (MDT), passou por uma versão inicial com 29 questões (Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992) e foi, então, ligeiramente modificado em 1995, chegando à sua versão atual com 30 questões. O inventário foi originalmente desenvolvido na língua inglesa. Existem, porém, versões traduzidas para várias outras línguas. Em português, dentro do contexto brasileiro, há uma versão do FCI especialmente bem traduzida e validada por Fernandes e Talim (2009). A tradução é mais do que uma questão linguística: ela requer a adaptação dos enunciados das questões ao contexto cultural de uma população e a sua validação inclui comprovar que a tradução não apresenta um viés diferente do questionário original (Fernandes; Talim, 2009). O questionário é disponibilizado de forma limitada, sempre sob o compromisso estrito de que ele não seja divulgado, em especial entre estudantes. A medida visa preservar o FCI como uma ferramenta diagnóstica preciosa, que tem permitido avanços importantes no ensino de Física.

O FCI vem sendo utilizado com diferentes finalidades, entre elas para diagnosticar os conceitos não assimilados por alunos ou turmas específicas e para avaliar a eficácia de um determinado processo ou método de ensino (Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992, p. 13-14). No segundo caso, aplica-se o inventário como pré-teste no início do processo de instrução e novamente, ao final, como pós-teste. Na tabela 1 abaixo são apresentados os resultados obtidos em algumas instituições. Nota-se que em uma instituição seletiva, como a Universidade de Harvard, na disciplina “Calculus-based” (para alunos de Ciências Exatas),

a nota no FCI é de 78% (pós-teste), para os estudantes das turmas que utilizaram o método tradicional de ensino e sobe sensivelmente nas turmas que usaram a metodologia ativa Peer Instruction.

Tabela 1 - Os valores do parâmetro FCI (pré e pós) de diferentes populações e a “eficiência”

Fuente	Población	Media del porcentaje de respuestas correctas		Eficiencia didáctica	
		pre-test	post-test		
Hestenes, Wells y Swackhamer, 1992	Arizona Reg.	27	48	29	
	Wells Reg.	28	64	50	
	Chicago Reg.	27	42	21	
	Arizona Hon.	33	56	34	
	Wells Hon.	42	78	62	
	Sawckhamer, Hon.	28	66	53	
	Arizona AP	41	57	27	
	Swackhamer AP	73	85	44	
	Van Heuvelen 105	34	63	44	
	Wells 105	36	68	50	
	Arizona State Reg.	52	63	23	
	Harvard Reg.	-	77	-	
Hestenes y Halloun, 1995	<i>Mastery threshold</i>		85	-	
	<i>Entry threshold</i>		60	-	
	sin especificar	-	-	25	
Hake, 1998	<i>traditional instruction</i>	-	-	23	
	<i>interactive-engagement instruction</i>	-	-	48	
	<i>high-g courses</i>	-	-	g > 70	
	<i>medium-g courses</i>	-	-	70 < g < 30	
	<i>low-g courses</i>	-	-	g < 30	
Crouch y Mazur, 2001	Harvard University	<i>Trad. I., 1990</i>	70	78	25
		<i>Peer I., 1991</i>	71	85	49
		<i>Peer I., 1993</i>	70	86	55
		<i>Peer I., 1994</i>	70	88	59
		<i>Peer I., 1995</i>	67	88	64
		<i>Peer I., 1996</i>	67	89	68
		<i>Peer I., 1997</i>	67	92	74
		<i>Peer I., 1998</i>	50	83	65
		<i>Trad. I., 1999</i>	48	69	40
		<i>Peer I., 2000</i>	47	80	63
Savinainen y Scott, 2002b (Viiri, 1996)	<i>Finish population</i>	28	69	57	
Steinberg y Donnelly, 2002	<i>City College of NY, traditional instruction</i>	40	53	22	
	<i>City College of NY, reform instruction</i>	39	65	43	
Domelen y Van Heuvelen, 2002	Winter	<i>“TIM” lab. course Ohio State University</i>	-	-	19
		<i>“CACP” lab. course Ohio State University</i>	-	-	31
	Spring	<i>“TIM” lab. course Ohio State University</i>	-	-	22
		<i>“CACP” lab. course Ohio State University</i>	-	-	33
Poblaciones ajenas a la investigación	Intervalo	máx.	73	92	74
		mín.	27	42	19
		Media aritmética	48	72	43
Poblaciones españolas	Intervalo	máx.	59	69	25
		mín.	28	33	-3
		Media aritmética	41	48	12

Fonte: LOPES, 2016, tabela 2.2, p.20. Adaptado de Covián e Celemin (2008).

Na elaboração do FCI e do seu precursor (MDT), dezenas de respondentes foram longamente entrevistados para discutir as respostas que haviam dado no teste (Halloun; Hestenes, 1985a, 1985b; Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992). Os pesquisadores solicitaram que eles justificassem as suas respostas e opiniões, explicitando, assim, as suas concepções alternativas acerca do movimento. Ao longo da discussão, os entrevistadores repetidamente introduziram informações e situações físicas que contrariavam as respostas dadas. Observou-se que inicialmente os estudantes sempre reiteravam as suas respostas e só lentamente vinham, por vezes, a alterá-las. Em muitos casos, apresentaram-se demonstrações experimentais típicas de sala de aula das situações tratadas nas questões do teste. O efeito delas na posição sustentada pelos entrevistados era pequeno, como aquele das dadas discussões mencionadas. Nas palavras dos autores Halloun e Hestenes (1985a):

Como regra, os estudantes mantinham firmemente as suas crenças, mesmo quando confrontados com fenômenos que as contradiziam. Quando a contradição era percebida, ou apontada, eles tendiam inicialmente não a questionar as suas crenças, mas a argumentar que o fenômeno observado era governado por alguma outra lei ou princípio e que o princípio usado por eles se aplicava a um caso ligeiramente diferente (Halloun; Hestenes 1985a).

Ainda mais marcante, em alguns casos, o estudante negava a própria discrepância entre o que via no experimento e a previsão que ele havia feito na sua resposta. Em suma, as entrevistas comprovaram a robustez das crenças sobre o movimento e permitiram estabelecer-se qual era a concepção alternativa que usualmente leva o estudante a escolher cada uma das respostas incorretas às questões do FCI. Essa relação entre as respostas incorretas e as concepções que conduzem a ela passou a ser conhecida como a “taxonomia dos conceitos intuitivos” (Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992). Ela é apresentada na tabela 2 que se segue. Veja-se um exemplo de como ela é utilizada. Na tabela há um grupo de linhas correspondente ao conteúdo “*Ímpetus*” (primeira coluna). Na primeira linha dele, temos a entrada “*Necessidade de uma força para haver movimento*” na segunda coluna, e “5C, D, E”, na terceira. Isso significa que os estudantes que respondem à questão 5 do FCI com as alternativas incorretas C, D e E, usualmente o fazem baseados na ideia do ímpeto (subseção 2.1.2) – eles acreditam que: 1) para que um corpo se mova é necessário haver sobre ele uma força resultante não-nula e; 2) quando um agente exerce uma força sobre um corpo, ela é transmitida e permanece nele, mesmo que cesse a ação do agente. Assim como a teoria do

ímpeto, outras das concepções alternativas mencionadas na tabela 2 são discutidas na seção 2.1.

Tabela 2 - Taxonomia dos conceitos intuitivos do FCI

Conteúdo	Conhecimentos intuitivos	Item no FCI (distrator)
Cinemática	Não discriminação entre posição e velocidade	19B,C,D
	Não discriminação entre velocidade e aceleração	19A; 20B,C
	Composição não vetorial da velocidade	9C
	Sistema de referência ego-centrado	14A,B
Ímpetus	Necessidade de uma força para haver movimento	5C,D,E; 11B,C; 27D; 30B,D,E
	Perda e recuperação do ímpetus original	7D; 8C,E; 21A; 23A,D
	Dissipação do ímpetus	12C,D; 13A,B,C; 14E; 23D; 24C,E; 27B
	Acúmulo gradual ou atrasado do ímpetus	8D; 10B,D; 21D; 23E; 26C; 27E
	Ímpetus circular	5C,D,E; 6A; 7A,D; 18C,D
Força ativa	Somente agente ativo exerce força	15D; 16D; 17E; 18A; 28B; 29B; 30A
	Movimento implica em força ativa	5C,D,E; 27A
	Se não há movimento, não há força	29E
	Velocidade proporcional à força aplicada	22A; 26A
	Aceleração implica em aumento de força	3B
	Força causa aceleração à velocidade terminal	3A; 22D; 26D
Par ação e reação	Desgaste da força ativa	22C,E
	Maior massa implica em maior força	4A,D; 15B; 16B; 28D
Concatenação de influências	O agente mais ativo produz a maior força	15C; 16C; 28D
	A maior massa determina o movimento	17A,D; 25E
	A conciliação das forças determina o movimento	6D; 7C; 12A; 14C; 21C
Outras influências no movimento	A última força que atua determina o movimento	8A; 9B; 21B; 23C
	Força centrífuga	5E; 6C,D,E; 7C,D,E; 18E
	Obstáculos não exercem força	4C; 5A; 11A,B; 15E; 16E; 18A; 29A
Resistência	A massa faz “as coisas pararem”	27A,B
	Só existe movimento quando a força supera a resistência	25A,B,D; 26B
	A resistência se opõe à força/ímpetus	26B
Gravidade	A pressão do ar contribui com a gravidade	3E; 11A; 17D; 29C
	A gravidade é intrínseca à massa	3D; 11E; 13E
	Objetos pesados caem mais rápido	1A; 2B,D
	A gravidade aumenta enquanto o objeto cai	3B; 13B
	A gravidade atua depois que o ímpetus é gasto	12D; 13B; 14E

Fonte: Adaptada de Hestenes, Wells e Swackhamer, 1992.

3.2 A TEORIA CONSTRUTIVISTA DE JEAN PIAGET

Jean Piaget desenvolveu uma das mais influentes teorias do desenvolvimento cognitivo, cuja base epistemológica se ancora na ideia de que o conhecimento é construído ativamente pelo sujeito em interação com o meio. Sua teoria, conhecida como **epistemologia genética**, propõe que o desenvolvimento intelectual ocorre por meio de estágios sequenciais e

qualitativos, nos quais a criança reorganiza progressivamente suas estruturas mentais (Piaget, 1976).

Segundo Piaget, a aprendizagem é resultado de um processo de adaptação, que envolve dois mecanismos fundamentais: a **assimilação** e a **acomodação**. A assimilação refere-se à incorporação de novas informações a estruturas cognitivas já existentes, enquanto a acomodação implica a modificação dessas estruturas diante de novas experiências que não podem ser compreendidas a partir dos esquemas anteriores. A interação entre esses dois processos promove o que Piaget chama de **equilíbrio**, uma busca constante por estabilidade cognitiva (Piaget, 1982).

Outro elemento essencial da teoria piagetiana é o papel do **conflito cognitivo** como motor do desenvolvimento. Piaget argumenta que o surgimento de contradições internas — frequentemente desencadeadas por interações com o meio ou com outras pessoas — leva o sujeito a questionar suas concepções anteriores, promovendo reestruturações mentais mais complexas e adaptadas.

No contexto educacional, a teoria de Piaget implica uma visão de ensino centrada no aluno como protagonista do processo de aprendizagem. O conhecimento não pode ser simplesmente transmitido pelo professor, mas precisa ser reconstruído pelo estudante a partir de sua atividade intelectual. Nesse sentido, métodos que favorecem a resolução de problemas, o confronto de ideias e a investigação ativa são mais eficazes para promover aprendizagens significativas.

Quando se trata do ensino de Física — disciplina que lida com conceitos abstratos e frequentemente contra-intuitivos —, a proposta construtivista de Piaget oferece uma base sólida para o uso de estratégias didáticas que promovam a reflexão, a argumentação e a revisão conceitual. A aprendizagem ocorre, portanto, como resultado da interação entre o sujeito e o problema, sendo mediada por processos cognitivos internos desencadeados por situações desafiadoras.

3.3 A TEORIA SOCIOCULTURAL DE LEV VYGOTSKY

A teoria sociocultural de Lev Vygotsky oferece uma perspectiva complementar e, em muitos aspectos, contrastante à teoria piagetiana. Enquanto Piaget enfatiza a construção individual do conhecimento, Vygotsky atribui papel central à **interação social** e à **mediação cultural** no desenvolvimento cognitivo (Vygotsky, 1998).

Para Vygotsky, os processos psicológicos superiores, como o raciocínio lógico, a memória voluntária e a atenção seletiva, são internalizados por meio da mediação simbólica e da interação com outros indivíduos, especialmente em contextos culturais específicos. A linguagem, nesse sentido, é o instrumento psicológico mais poderoso, funcionando como mediadora entre o mundo social e o pensamento individual.

Um dos conceitos centrais da teoria vygotskyana é a **Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP)**, definida como a distância entre aquilo que uma pessoa consegue realizar sozinha e aquilo que consegue realizar com a ajuda de outra pessoa mais experiente. A ZDP ressalta a importância da **colaboração** e da **mediação** no processo de aprendizagem. De acordo com essa perspectiva, o ensino eficaz não deve se limitar ao que o aluno já sabe, mas deve atuar dentro de sua ZDP, promovendo avanços por meio de interações significativas (Vygotsky, 1998).

A partir dessa abordagem, o papel do professor é reconfigurado: ele não é apenas transmissor de conteúdo, mas organizador de situações interativas que possibilitam a aprendizagem por meio do diálogo, da cooperação e do uso de ferramentas culturais. Em um ambiente de aprendizagem sociocultural, os pares também podem exercer função mediadora, especialmente quando há diferenças nos níveis de compreensão entre os estudantes.

No ensino de Física, a teoria sociocultural de Vygotsky sustenta a necessidade de criar espaços em que os alunos possam dialogar, argumentar e reconstruir coletivamente o conhecimento científico. A aprendizagem é vista como um processo essencialmente **interativo**, em que as ideias dos alunos são desafiadas, ressignificadas e consolidadas por meio da mediação social e da linguagem.

3.4 METODOLOGIAS ATIVAS DE ENSINO

Os métodos ativos de ensino têm como objetivo promover a aprendizagem por meio do envolvimento dos estudantes em atividades reflexivas, com retorno (*feedback*) imediato (Hake, 1998).

Esses métodos se difundiram mais rapidamente a partir da década de 90. O impulso foi a publicação de um relatório na *Association for the Study of Higher Education*, o qual reunia evidências de que a aprendizagem requer mais do que escuta passiva: é necessário, também, engajar-se ativamente em atividades como escrita, leitura, resolução de problemas e discussão.

Estudos posteriores (Hake, 1998; Prince, 2004; Hoellwarth, Moelter, 2001; Michael, 2006) revelaram que os métodos ativos conduzem, nas mais diversas áreas do conhecimento, a uma aprendizagem superior à do método tradicional (considerado aqui como aquele que se baseia principalmente na exposição oral de conteúdos pelo professor para estudantes passivos). Entre esses estudos, destaca-se o realizado por Hake.

A pesquisa desenvolvida por Hake contou com a participação de mais de seis mil discentes, matriculados em 62 disciplinas oferecidas por diversas instituições de Ensino Médio e Superior. O objetivo era comparar a eficácia de métodos ativos e tradicional no ensino de Física básica.

O critério de comparação utilizado se tornou conhecido como ganho normalizado de Hake ou, de modo mais simples, ganho de Hake. A equação (76), mostrada abaixo, permite seu cálculo. Nessa equação, $\langle g \rangle$ representa o ganho, $\langle Spré \rangle$ a nota média percentual de uma turma em um teste aplicado no início de uma disciplina e $\langle Spós \rangle$ a nota média percentual da turma no *mesmo* teste aplicado no final da disciplina (Lopes, 2016). Sendo assim, o numerador expressa a melhora efetivamente alcançada pela turma, enquanto o denominador representa a melhora máxima possível. A razão entre o numerador e o denominador resulta em um número compreendido entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, mais significativa é a melhora. É importante destacar que os valores negativos, obtidos quando a nota no pré- teste é superior à do pós-teste, não são considerados (Muller, 2017).

$$\langle g \rangle = \frac{\langle Spós \rangle - \langle Spré \rangle}{100 - \langle Spré \rangle}, \quad (76)$$

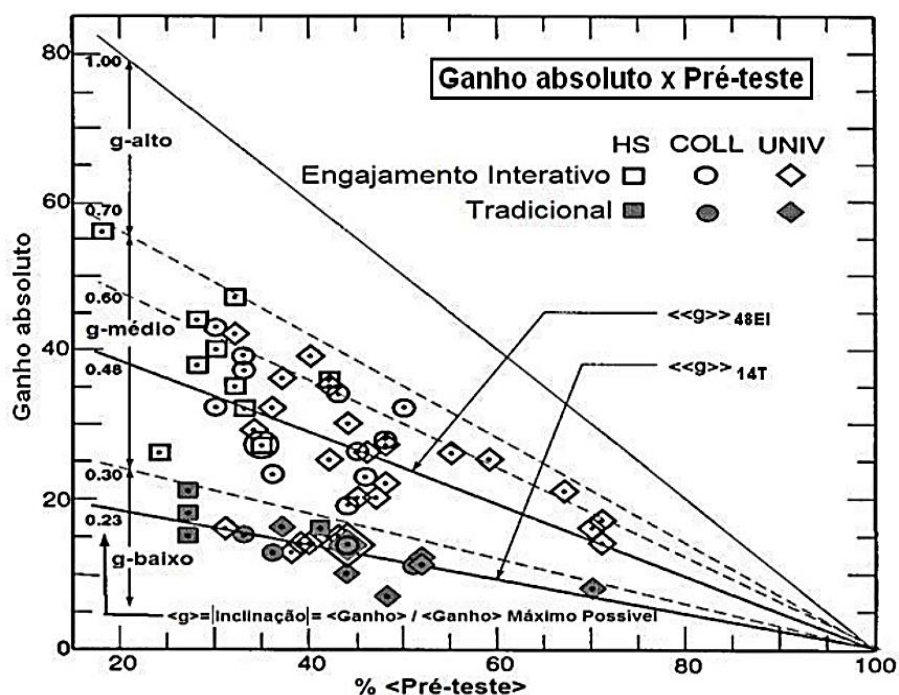
“Frequentemente, menciona-se o ganho de Hake percentual, isso é, $100 \times \langle g \rangle$ ” (Lopes, 2016, p.4).

Os testes empregados no estudo de Hake (1998) foram o Diagnóstico de Mecânica (*Mechanics Diagnostic Test*, MD), o Mecânica Básica (*Mechanics Baseline*, MB) e o Inventário de Conceito de Força (*Force Concept Inventory*, FCI), que foi abordado com mais detalhes na seção 3.1.

Uma síntese dos resultados obtidos por Hake é apresentada no gráfico da figura 4 abaixo. Ele mostra o ganho absoluto ($\langle Spós \rangle - \langle Spré \rangle$) percentual em função da nota média percentual no pré-teste ($\langle Spré \rangle$) referentes às 62 disciplinas de Física básica que participaram da pesquisa. Como mostrado ali, o ganho Hake das 14 disciplinas que empregaram o método tradicional foi de $(0,23 \pm 0,04)$, valor situado na faixa de ganho de Hake considerado baixo.

Por outro lado, o ganho Hake das 48 disciplinas que adotaram métodos ativos foi de $(0,48 \pm 0,14)$. Esse valor, que pertence ao intervalo de ganho de Hake considerado médio, é mais que o dobro do obtido pelas disciplinas ministradas com método tradicional.

Figura 4 - Ganho absoluto ($\langle Sp\acute{o}s \rangle - \langle Sp\acute{r}\acute{e} \rangle$) percentual em função da nota média ($\langle Sp\acute{r}\acute{e} \rangle$) percentual no pré-teste de 62 disciplinas de Física básica



Fonte: LOPES, 2019, gráfico 2.1, p.5. Adaptado de Hake (1997).

Legenda: Os símbolos (quadrados, círculos e losangos) preenchidos representam as 14 disciplinas ministradas com método tradicional, enquanto os mesmos símbolos, não preenchidos, correspondem as 48 disciplinas que utilizaram metodologias ativas. As inclinações das retas mostradas indicam o ganho de Hake. As setas duplas localizadas no canto esquerdo do gráfico indicam, de baixo para cima, o intervalo de ganho de Hake classificados como baixo, médio e alto, respectivamente. As siglas HS, COLL e UNIV referem-se, nesta ordem, escolas de Ensino Médio, faculdades (Colleges) e universidades.

3.4.1- A Metodologia *Peer Instruction*

Atualmente, há uma ampla variedade de metodologias ativas disponíveis. Algumas incluem o *Think-Pair-Share* (Pense-Par-Compartilhe) (Mc Tighe; Lyman, 1988), o *Class-Wide Discussion* (Dufresne *et al.*, 1996), o *Peer Instruction* (Mazur, 1997), o *Problem Based Learning* (Aprendizagem Baseada em Problemas) (Albanese; Mitchell, 1993) e o *Case Method* (Estudo de Caso) (Barnes; Christensen; Hansen, 1994). Entre essas metodologias, a *peer instruction* é a mais conhecida e utilizada no ensino de Física. Com efeito, em uma pesquisa realizada nos Estados Unidos (EUA) com a participação de 722 professores de Física, 63,5% alegaram possuir algum conhecimento acerca da metodologia e 29,2% afirmaram que já te-la utilizado em sua prática docente (Henderson, Dancy, 2009).

A metodologia PI foi criada em 1990 por Eric Mazur, professor de Física da Universidade de *Haward*, após verificar, assim como Halloun e Hestenes (1985), que o método tradicional de ensino modificava em pouco as concepções alternativas dos estudantes (Lopes, 2016). De maneira resumida, o *peer instruction* envolve a exposição curta pelo professor de um conteúdo previamente estudado pelos alunos (estudo prévio) entremeado por testes conceituais e discussões (Nascimento, 2020).

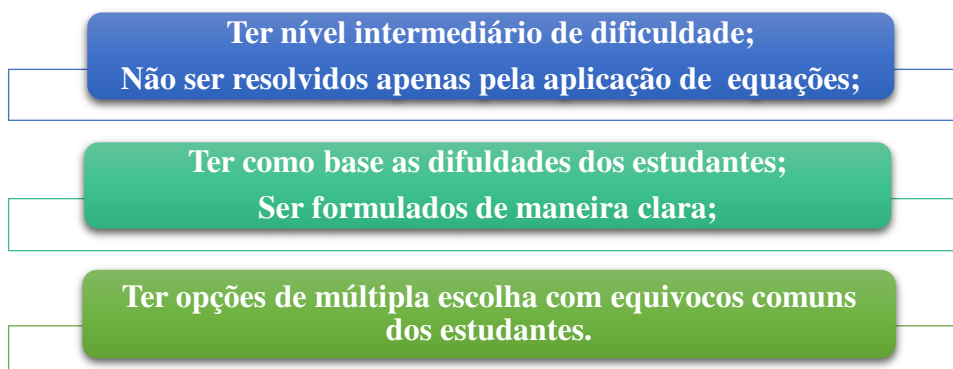
Segundo Crouch *et al.* (2007), o estudo antecipado reduz, de maneira significativa, o tempo de aula utilizado com exposição de conteúdo ampliando, assim, o tempo para a aplicação de testes conceituais. Além disso, o estudo prévio contribui para o desenvolvimento da habilidade de aprender através da leitura, crucial para qualquer profissão.

As alternâncias entre as breves exposições do professor e as discussões entre os estudantes contribui para a manutenção da concentração durante a aula. Isso ocorre porque, durante uma exposição contínua, uma pessoa consegue permanecer concentrada por um tempo bastante reduzido conhecido como “*attention span*”. Para os alunos, ele é inferior a 20 minutos. Ao intercalar essa explanação curta com outras atividades, o nível de atenção é constantemente recuperado.

As discussões entre os discentes são a coluna dorsal do *peer instruction*. Além disso, são delas que derivam o nome desse método. De acordo com Mazur (1997), após esses momentos de interação, verifica-se um aumento no número de respostas corretas. Segundo esse autor, os estudantes, por terem estudado o conteúdo recentemente, estão mais cientes das dificuldades envolvidas e, por isso, são mais eficazes que o professor em ensinar uns para os outros. Adicionalmente, as discussões contribuem para aprimorar as habilidades de se comunicar, de escutar e de respeitar uma opinião divergente, fundamentais para uma vida em sociedade.

Os testes conceituais constituem elementos fundamentais para que se tenham discussões ricas. Crouch *et al.* (2007) elaboraram dicas para escrita de bons testes conceituais, as quais são apresentadas na figura 5 abaixo:

Figura 5 - Dicas para elaboração de testes conceituais efetivos



Fonte: NASCIMENTO, 2020, quadro 2.1, p. 21. Adaptado de Crouch *et al.* (2007).

Na metodologia PI, tanto o professor quanto os estudantes recebem um retorno imediato. O docente obtém um *feedback* sobre a sua exposição e sobre a leitura pré-aula feita pelos alunos, possibilitando uma intervenção em tempo real. Por sua vez, os discentes obtém um retorno da eficácia do seu estudo prévio e de sua compreensão acerca do conteúdo estudado (Lopes, 2016).

Uma das vantagens do *peer instruction* é que ele não requer mudança no material didático. Com efeito, o livro-texto permanece o mesmo. A mudança ocorre apenas na forma em que os conteúdos são ensinados. Também não são necessárias grandes modificações na estrutura da instituição de ensino.

Desde a criação do *peer instruction*, diversos estudos foram conduzidos para investigar a efetividade dessa metodologia. O principal deles foi conduzido por Mazur e colaboradores na Universidade de *Haward* em 1991, estendendo-se por uma década. Na pesquisa, comparou-se a efetividade do *peer instruction* e do método tradicional em duas disciplinas introdutórias de mecânica: *Calculus-based*, destinada a estudante de Ciências Exatas e *Algebra-based*, voltada para estudantes de outras áreas. O parâmetro adotado para comparação foi o ganho normalizado, discutido na seção 3.4, sendo utilizados os testes FCI (veja seção 3.1) e o MB. Os resultados obtidos com o FCI, sintetizados na tabela 3 abaixo, revelaram que a metodologia PI proporciona ganhos normalizados substancialmente superiores aos alcançados pelo método tradicional. (Crouch, Mazur, 2001; Crouch *et al.*, 2007). Além de promover uma melhor compreensão conceitual, o PI também se mostrou eficaz no desenvolvimento da habilidade de resolver problemas quantitativos, conforme mostraram esses mesmos artigos.

Tabela 3 - Síntese dos resultados obtidos com o *peer instruction*, ao longo de dez anos de experiência, na Universidade de Haward

Ano	Método	Nota Pré	Nota Pós	Ganho absoluto (pós-pré)	Ganho normalizado <g>	N
<i>Calculus-based</i>						
1990	Trad	70%	78%	8%	0,25	121
1991	IpC	71%	85%	14%	0,49	177
1993	IpC	70%	86%	16%	0,55	158
1994	IpC	70%	88%	18%	0,59	216
1995	IpC	67%	88%	21%	0,64	181
1996	IpC	67%	89%	22%	0,68	153
1997	IpC	67%	92%	25%	0,74	117
<i>Algebra-based</i>						
1998	IpC	50%	83%	33%	0,65	246
1999	Trad	48%	69%	21%	0,40	129
2000	IpC	47%	80%	33%	0,63	126

Fonte: LOPES, 2016, tabela 2.1, p.9. Adaptado de Crouch e Mazur (2001) e Crouch *et al.* (2007).

Legenda: A primeira coluna apresenta os anos e as disciplinas. A segunda indica os métodos de ensino utilizados, sendo Trad e IpC as siglas para os métodos tradicional e de instrução pelos colegas, respectivamente. A terceira e a quarta colunas mostram a nota média percentual da turma no FCI aplicado no início e ao final da disciplina, respectivamente. A quinta coluna representa o ganho absoluto percentual; a sexta, o ganho normalizado; e a sétima, o número de estudantes participantes.

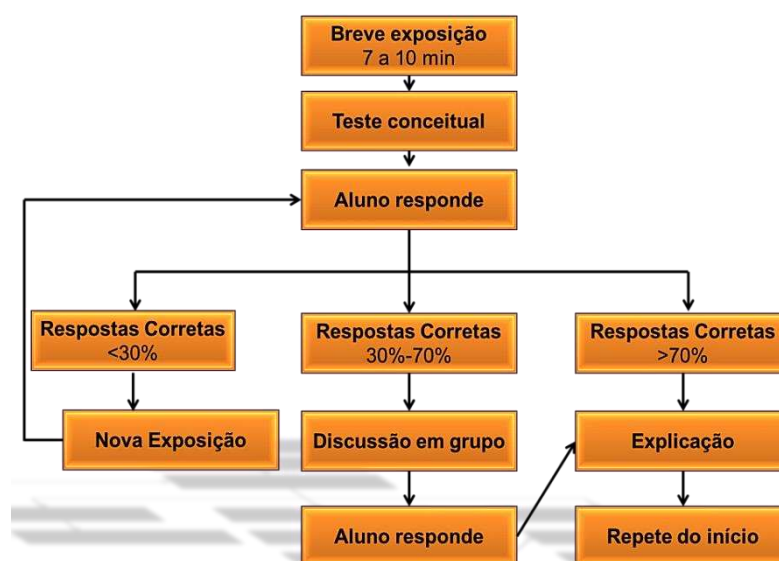
3.4.1.1 A Dinâmica de uma Aula com a Metodologia PI

Esta seção descreve a dinâmica de aula ministrada com a metodologia *peer instruction*, segundo Mazur (1997), Crouch e Mazur (2001), Crouch *et al.* (2007), Lasry (2008), Lasry, Mazur, Watkins (2008), Araújo e Mazur (2013), Muller (2013) e Lopes (2016). Ressalta-se que existem na literatura científica descrições sutilmente distintas desta.

Antes de uma aula ministrada com a metodologia *peer instruction*, o professor informa aos discentes quais os tópicos do livro-texto devem ser estudados previamente. Essa orientação possibilita que os estudantes se preparem antecipadamente para a aula, que apresentará exemplos adicionais e concentrará o foco nos tópicos mais críticos e relevantes. A dinâmica de uma aula PI está resumida na figura 6 a seguir. Inicialmente, o professor realiza uma explanação breve, com duração entre 7 e 10 minutos, acerca de um dos tópicos que os estudantes foram orientados a estudar previamente, que seja considerado importante ou que

tenha se mostrado desafiador para os discentes. Logo após, ele apresenta um teste conceitual de múltipla escolha relacionado a esse tópico. Em seguida, os estudantes dispõem de cerca de 2 minutos para pensar individualmente e em silêncio sobre o problema. Ao final desse tempo, os discentes fornecem individualmente sua resposta. Para isso, diferentes estratégias podem ser utilizadas incluindo o levantamento de mãos, *flashcards* (cartões), *clikers*, dispositivos com acesso à internet e urnas de votação. O procedimento subsequente depende do percentual de respostas corretas. Se o percentual de acerto for superior a 70% (como mostra a extremidade direita da figura), o professor explica a resposta correta sem delonga e retorna à etapa inicial, realizando uma exposição curta sobre um tópico distinto. Caso o percentual de acerto seja inferior a 30% (conforme indicado na extremidade esquerda da figura), o professor aprimora a sua explanação, introduzindo novos detalhes, e os discentes respondem novamente ao teste, de modo individual. Para percentuais de acertos compreendidos entre 30% e 70% (área central da figura), o professor incentiva as discussões em pequenos grupos, formados por 2 a 5 estudantes. Durante esse momento, o professor e eventuais assistentes circulam pela sala de aula, ouvindo os estudantes, incentivando e participando das discussões, sem fornecer a resposta correta. Após alguns minutos, os estudantes fornecem individualmente as suas respostas, e o professor encerra o ciclo com uma explicação breve da resposta correta. Na sequência, o docente inicia um novo ciclo, retornando ao procedimento inicial.

Figura 6 - Dinâmica da instrução pelos colegas



Fonte: LOPES, 2016, figura 2.1, p.7. Adaptado de Lasry (2008).

3.4.1.2 Fundamentação Teórica: Peer Instruction à Luz de Vygotsky e Piaget

A metodologia *Peer Instruction* (PI), proposta por Eric Mazur (1997), representa uma abordagem inovadora no ensino de Física, caracterizada por momentos de instrução ativa em que os estudantes interagem entre si com o objetivo de construir coletivamente o conhecimento. Tal estratégia pode ser compreendida de maneira mais profunda quando analisada à luz das contribuições teóricas de Lev Vygotsky e Jean Piaget, dois pilares da psicologia do desenvolvimento cognitivo.

Vygotsky (1998) enfatiza a importância da mediação social no processo de aprendizagem, sendo a linguagem e a interação social elementos centrais para o desenvolvimento das funções psicológicas superiores. Um conceito-chave em sua teoria é o de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), que se refere à distância entre aquilo que um aprendiz é capaz de fazer sozinho e o que pode realizar com a ajuda de um parceiro mais experiente. A metodologia PI se alinha diretamente a esse conceito, uma vez que promove o diálogo entre os pares, permitindo que os estudantes com maior compreensão de um conceito auxiliem seus colegas, promovendo avanços cognitivos dentro da ZDP.

Ao resolverem conceitualmente questões de múltipla escolha, os estudantes são convidados a discutir e justificar suas respostas. Esse processo de argumentação e escuta ativa potencializa a internalização de conceitos, conforme descrito por Vygotsky (1998). A interação entre os pares, portanto, não apenas reforça o conteúdo aprendido, mas também amplia as possibilidades de desenvolvimento cognitivo por meio da colaboração e da troca de perspectivas.

Por outro lado, a teoria de Jean Piaget (1976) contribui para a compreensão do papel da interação no desenvolvimento do pensamento lógico e científico. Para Piaget, o conhecimento é construído a partir da interação entre o sujeito e o meio, sendo o conflito cognitivo um motor essencial para o desenvolvimento. No contexto da PI, o confronto entre diferentes respostas e raciocínios estimula a assimilação e a acomodação — mecanismos centrais no processo de equilíbrio — e promove a reorganização do pensamento dos estudantes.

O papel do erro também assume uma função produtiva na metodologia PI. Ao discutir ideias divergentes, os alunos têm a oportunidade de confrontar concepções prévias e perceber eventuais inconsistências em seu raciocínio. Esse tipo de conflito, chamado por Piaget (1982) de “desequilíbrio cognitivo”, é um estímulo para a reconstrução do conhecimento. Assim, a

aprendizagem ocorre de forma ativa e significativa, com os estudantes exercendo papel central em sua própria construção cognitiva.

Portanto, tanto a perspectiva sociocultural de Vygotsky quanto a epistemologia genética de Piaget oferecem fundamentos robustos para a utilização da metodologia *Peer Instruction* no ensino de Física. A promoção da interação entre os alunos não é apenas uma estratégia didática, mas um elemento essencial para o desenvolvimento cognitivo e para a formação de um pensamento científico mais elaborado.

3.5 PRINCÍPIOS COGNITIVOS

3.5.1 O Nível de Dificuldade dos Problemas que as Pessoas Gostam de Trabalhar

No livro *“Por que os alunos não gostam da escola? [...]”*, Willingham (2011) afirma que o cérebro não foi projetado para pensar, mas para evitar o pensamento. Pensar é uma atividade lenta, exige esforço e pode conduzir a uma resposta incorreta ou, até mesmo, a ausência de uma resposta.

Isso não significa que as pessoas não pensam. Na verdade, elas pensam constantemente, mas evitam pensar sempre que podem e acabam recorrendo à memória. De fato, muitos dos problemas enfrentados pelas pessoas foram resolvidos anteriormente, por elas mesmas ou por outras pessoas. Nesses casos, ao invés de procurarem uma solução, as pessoas preferem se lembrar da forma como o problema foi resolvido no passado (Willingham, 2011).

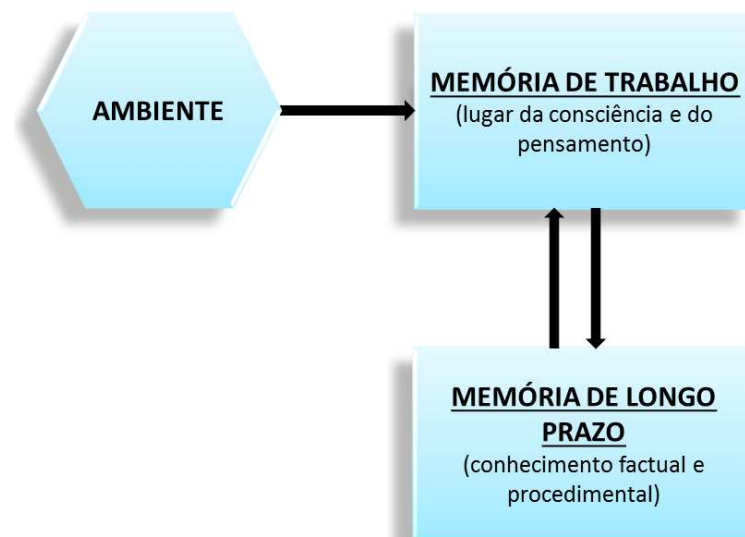
Como exemplo, se alguém perde a chave de um cadeado e precisa abri-lo, é pouco provável que se dedique a buscar uma solução. Em vez disso, recorrerá à lembrança de como outra pessoa – seu vizinho, por exemplo – resolveu esse mesmo problema, e emprega a solução conhecida.

Embora o cérebro não tenha sido planejado para pensar, as pessoas apreciam o pensamento quando o problema apresenta um nível intermediário de dificuldade. Isso ocorre porque, ao resolvê-lo, uma substância chamada dopamina é liberada no cérebro, gerando a sensação de prazer. Se, contudo, o problema for excessivamente difícil ou demasiadamente fácil, pensar sobre ele será evitado sempre que possível. Em problemas difíceis, mesmo após um grande esforço mental, pode-se não alcançar a solução, o que gera frustração. Da mesma forma, também não há sentido em empenhar-se na resolução de um problema muito simples, pois a satisfação obtida com ele é mínima (Willingham, 2011).

3.5.2 O Modelo da Mente

Um modelo simplificado da mente humana é mostrado na figura 7, abaixo. À esquerda encontra-se o **ambiente**, repleto de coisas para serem vistas, ouvidas, resolvidas, entre outras. À direita, na parte superior, está a memória de trabalho, que pode ser considerada como sinônimo da consciência. Ela mantém apenas as informações sobre as quais se está pensando no momento. Logo abaixo, encontra-se a **memória de longo prazo**, que armazena tanto os fatos (conhecimento factual) quanto os procedimentos necessários para a realização de determinadas tarefas (conhecimento procedimental). Conforme ilustrado na figura, as informações da memória de longo prazo residem fora da consciência. Essas informações apenas se tornam conscientes quando se pensa sobre elas. Por exemplo, o fato de que um urso polar é branco permanece silenciosamente guardado na memória de longo prazo e só é trazido à memória de trabalho quando se faz uma pergunta sobre a cor desse animal (Willingham, 2011).

Figura 7 - Modelo simplificado da mente



Fonte: WILLINGHAM, 2011, figura 1.6, p.24.

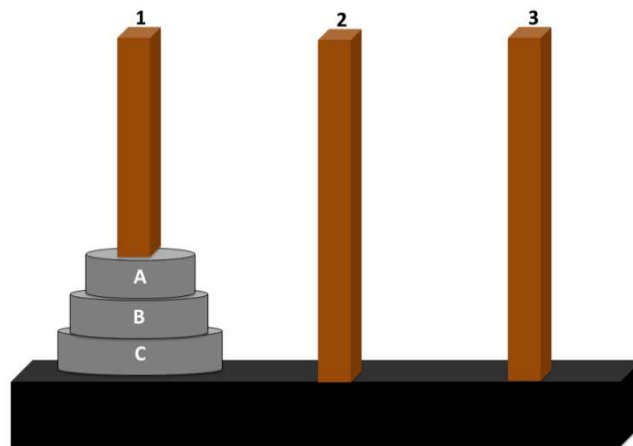
Legenda: À esquerda, encontra-se o ambiente. À direita, localizam-se a memória de trabalho, na parte superior e, a memória de longo prazo, na parte inferior.

O pensamento ocorre quando as informações presentes no ambiente e na memória de longo prazo são combinadas na memória de trabalho. Em geral, as informações obtidas do

ambiente não são suficientes para a resolução de um problema e, por isso, precisam ser completadas por dados armazenados na memória de longo prazo.

Um problema que ilustra como o pensamento acontece é apresentado na figura 8, a seguir. “Dentro da memória de trabalho, [...] você precisa imaginar e avaliar os potenciais movimentos. Ao mesmo tempo, você precisa lembrar as regras no tocante a quais movimentos são permitidos”, (Willingham, 2011, p.26). A figura 9, abaixo, mostra configuração da mente no problema dos discos. Como mostrado na figura, este problema não requer nenhuma informação da memória de longo prazo.

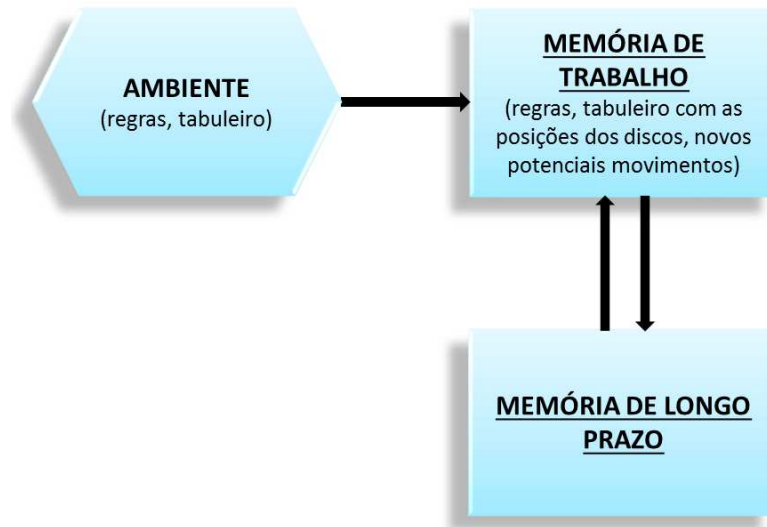
Figura 8 - Ilustração de um tabuleiro com três hastes: 1, 2 e 3



Fonte: WILLINGHAM, 2011, figura 1.7, p.25

Legenda: Na haste 1 encontram-se três discos (A, B e C) dispostos, de baixo para cima, em ordem decrescente de raio. O objetivo é mover todos os discos da haste 1 para a haste 3, contudo, pode-se mover somente um disco por vez e não se pode colocar o disco de raio maior sobre um disco de raio menor. Na haste 1 encontram-se três discos (A, B e C) dispostos, de baixo para cima, em ordem decrescente de raio. O objetivo é mover todos os discos da haste 1 para a haste 3, contudo, pode-se mover somente um disco por vez e não se pode colocar o disco de raio maior sobre um disco de raio menor

Figura 9 – Organização, na mente, das informações necessárias para a resolução do problema dos discos, apresentado na figura 8



Fonte: WILLINGHAM, 2011, figura 1.7, p.26

Para que um trabalho mental seja efetuado com êxito, é crucial ter as informações corretas no ambiente, na memória de longo prazo e na memória de trabalho. Além disso, é de igual importância dispor de espaço suficiente na memória de trabalho.

O problema apresentado a seguir ilustra como uma memória de trabalho superlotada dificulta o pensamento. A memória de trabalho tem uma capacidade limitada. Ocorre, porém, que o problema abaixo contém mais informações do que a memória de trabalho consegue armazenar. Assim, é extremamente difícil compreender e tentar resolver esse problema sem que seja necessário lê-lo outras vezes mais.

Figura 10 – Problema da cerimônia do chá

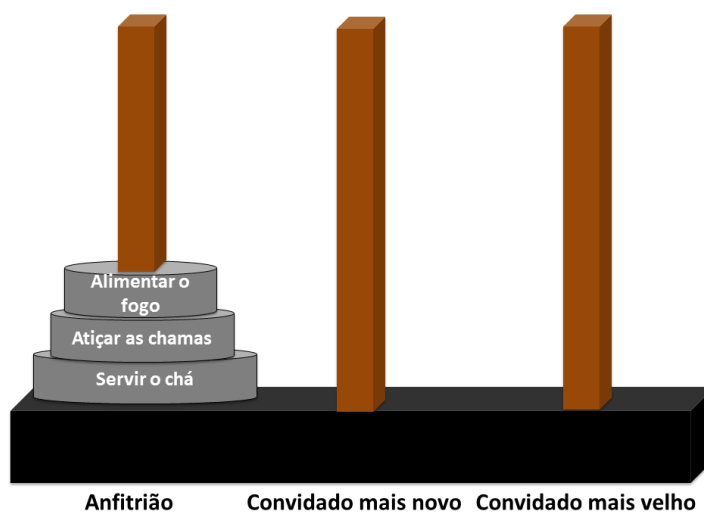
Nas pousadas de certas aldeias do Himalaia, é praticada uma refinada cerimônia do chá. A cerimônia envolve o anfitrião e exatamente dois convidados, ninguém mais e ninguém menos. Quando os convidados chegam e acomodam-se à mesa, o anfitrião realiza para eles três tarefas. Estas são listadas de acordo com a nobreza que os nativos atribuem a elas: alimentar o fogo, atizar as chamas e servir o chá. Durante a cerimônia, qualquer um dos presentes pode perguntar "*Honrado senhor, poderia eu realizar esta onerosa tarefa em seu lugar?*". Entretanto, uma pessoa pode solicitar a alguém apenas a mais nobre das tarefas que o outro está executando. Além disso, se uma pessoa está realizando uma determinada tarefa, ela não pode solicitar uma tarefa que seja mais nobre do que a tarefa menos nobre que já está sendo executada. O costume impõe que, ao término da cerimônia, todas as tarefas tenham sido transferidas do anfitrião ao mais velho dos convidados. Como isso pode acontecer?

Fonte: WILLINGHAM, 2011, p.27. (Adaptado de Simon, 1996, p.94)

O problema anterior é essencialmente idêntico àquele dos discos, mostrado na figura 8. O leitor certamente teve mais facilidade para compreender e resolver o problema dos discos do que o da cerimônia do chá. Isso se explica porque muitas das informações presentes no problema do chá, que precisariam ser manipuladas na memória de trabalho estão, no problema dos discos, disponíveis no ambiente sob a forma de imagens. Assim, foi possível liberar espaço na memória de trabalho que pôde, então, armazenar todas as informações necessárias à resolução deste problema.

A analogia entre o problema dos discos e o da cerimônia do chá está mostrada na figura 11, abaixo. Como se pode observar, as hastes 1, 2 e 3 no tabuleiro representam, nesta ordem, o anfitrião, o convidado mais novo e o convidado mais velho. Já os discos A, B e C representam, respectivamente, as tarefas de alimentar o fogo, atizar as chamas e servir o chá.

Figura 11 – Analogia entre o problema dos discos e o problema do chá



Fonte: WILLINGHAM, 2011, figura 1.9, p.28

Legenda: As hastes 1, 2 e 3 do problema dos discos representam o anfitrião, o convidado mais novo e o convidado mais velho no problema do chá. Os discos no problema da figura 8 representam, no problema do chá, as tarefas de alimentar o fogo, atiçar as chamas e servir o chá, respectivamente.

3.5.3 O Poder de Criar a Expectativa de Avaliação

Como será mostrado nas subseções 5.3.1 e 5.4.1, ambas as sequências didáticas sobre as leis de Newton têm início com a entrega de uma folha aos estudantes. Como será explicado nas referidas seções, o objetivo é criar nos estudantes a expectativa de que serão questionados e, assim, aumentar o foco. Essa estratégia está fundamentada na experiência relatada a seguir.

Durante um *workshop* acerca dos benefícios da utilização *clickers*, realizado para funcionários, docentes e discentes de pós-graduação, o palestrante realizou um teste com o objetivo de sondar o engajamento desse público. O teste envolveu a distribuição de *clickers* para exatamente metade da plateia. Após, uma explicação sobre uma nomenclatura de química relativamente simples foi realizada pelo palestrante que, em seguida, projetou uma pergunta relacionada ao assunto. O percentual de acerto foi de 88%. Uma vez mais a nomenclatura foi explicada e, logo após, uma nova pergunta foi projetada. Antes, porém, de responder à questão, as pessoas que dispunham de *clickers* foram solicitadas a emprestar para aqueles que não tinham. Esperava-se que o percentual de acerto aumentasse, pois o segundo grupo de respondentes ouviu duas explicações sobre a nomenclatura. Além disso, a segunda pergunta era similar à primeira. Contudo, o percentual de acerto diminuiu para 56%. A explicação é que, o segundo grupo, por não prever que teria que responder a alguma pergunta,

engajou-se menos que o primeiro. Assim, o teste revelou que a expectativa de ser questionado contribui para ampliar o engajamento (Woelk, 2008).

3.5.4 O Poder das Histórias

A mente humana está fortemente orientada para a construção de sentido, e as histórias figuram entre as estratégias mais eficazes para promover a aprendizagem. Não por acaso, desde a infância, as histórias são um dos primeiros recursos utilizados para ensinar e transmitir valores, e continuam sendo ferramentas eficazes mesmo em contextos mais avançados de aprendizagem.

Segundo Willingham (2011), as histórias são “psicologicamente privilegiadas” na mente, ou seja, recebem um tratamento distinto em relação a outros tipos de informação. Embora não haja consenso absoluto sobre sua definição, diversas fontes apontam para quatro elementos recorrentes: causalidade, conflito, complicação e personagens. A causalidade expressa uma relação de causa e efeito entre os acontecimentos. No exemplo citado por Willingham (2011, p. 69) — “Eu vi Jane; deixei a casa” —, a causa para ter deixado a casa foi o encontro com Jane. O conflito representa os obstáculos que um personagem enfrenta para alcançar determinado objetivo, como um pneu furado ou uma tempestade quando é preciso chegar a um destino em horário fixado. As complicações consistem nos subproblemas decorrentes do objetivo principal; no exemplo do pneu, o motorista precisa de um macaco para realizar a troca, mas, por não tê-lo, precisa conseguir um emprestado. Os personagens, por sua vez, constituem o núcleo em torno do qual a narrativa se desenvolve. De acordo com Willingham (2011), histórias eficazes apresentam personagens interessantes, cujas características são reveladas por meio de suas ações, e não por descrições explícitas. Um bom contador de histórias mostra, em vez de dizer, quem são essas figuras. Por exemplo, na primeira aparição da Princesa Leia em *Star Wars*, ela enfrenta uma tropa de soldados, o que torna evidente sua coragem sem que isso precise ser explicitado.

As vantagens de comunicar algo por meio de uma história são três: facilitar a compreensão, favorecer a lembrança e despertar interesse. A compreensão é facilitada porque sua estrutura é familiar ao público; o ouvinte sabe, por exemplo, que há uma causa para cada acontecimento e, caso ela não seja revelada de imediato, buscará inferi-la. No exemplo citado por Willingham (2011), “Eu vi Jane; deixei a casa”, se não for informado que Jane era um ex-amor, o ouvinte tentará compreender por que vê-la foi motivo para sair. O interesse é

despertado quando a história exige inferências em nível de dificuldade adequado — nem excessivamente simples nem demasiadamente complexas —, como discutido anteriormente na subseção 3.5.1. O esforço mental na tentativa de inferir contribui para a retenção, pois, como destacado por Willingham, “a memória é um resíduo do pensamento”.

É importante ressaltar que Willingham (2011) não defende que o professor deva se limitar a contar histórias — embora não haja nada de negativo nessa prática — mas que estruture suas aulas segundo a lógica de uma história, com causas, conflitos, complicações e personagens, independentemente de qual método utilize para ensinar.

Com base no exposto acima, esta pesquisa recorreu ao uso de uma história para apresentar o método científico no contexto da sequência didática sobre a segunda lei de Newton, como destacado em 5.3.1, com o intuito de despertar o interesse nos estudantes.

3.5.5 Prática Continuada, Espaçada e com Esforço: Implicações da Ciência Cognitiva para o Ensino

A psicologia cognitiva aplicada à educação tem revelado princípios fundamentais para a promoção da aprendizagem duradoura e significativa. Dentre esses princípios, destacam-se a retomada deliberada de conteúdos ao longo do tempo e a exigência de esforço mental. Tais elementos foram amplamente discutidos por Willingham (2011), que os apresenta como estratégias baseadas em evidências para tornar o ensino mais eficaz.

Segundo o autor, a aprendizagem não ocorre de forma instantânea, mas é consolidada ao longo do tempo por meio de retornos frequentes a um mesmo conteúdo. A prática espaçada tem demonstrado ser mais eficiente do que a prática massiva (quando um conteúdo é ensinado e exercitado intensivamente em um curto período de tempo). Essa distribuição temporal possibilita novas aprendizagens, favorece a retenção em longo prazo e a transferência para outras situações.

Como discutido na subseção 3.5.2, a memória de trabalho tem uma capacidade limitada e pensar de maneira eficiente quando ela está sobrecarregada é extremamente difícil. Uma das formas de liberar espaço na memória de trabalho é por meio da prática: processos mentais que a princípio ocupavam considerável espaço na memória de trabalho podem tornar-se automáticos. Processos automáticos ocupam pouco ou nenhum espaço na memória de trabalho. Com esse espaço adicional novas aprendizagens podem acontecer.

Além disso, conforme destaca Willingham (2011), a mente humana tende a esquecer rapidamente boa parte do que é aprendido. Como explicado na subseção 3.5.2, a memória de longo prazo armazena os fatos e os procedimentos sobre os quais se pensa. Nesse sentido, o esforço mental favorece a retenção da informação na memória de longo prazo.

A prática auxilia, ainda, na identificação da estrutura subliminar de um problema, mesmo que nunca tenha sido visto antes. “Em suma, a prática ajuda a transferência porque torna mais óbvia a estrutura profunda.”

Esses princípios sustentam a decisão de, além da elaboração das sequências didáticas sobre a primeira e a segunda lei de Newton, propor questões adicionais sobre esses temas. Dessa forma, busca-se criar oportunidades para que esses conteúdos sejam continuamente revisitados, exigindo esforço cognitivo, contribuindo, assim, para a transferência da primeira e segunda lei de Newton para novas situações, para sua fixação na memória de longo prazo e para a liberação de espaço na memória de trabalho para aprendizagens posteriores.

3.5.6 O Efeito da Avaliação Por Participação e Não Por Acerto

Como será destacado no capítulo 5, nas sequências didáticas desenvolvidas nesta pesquisa, optou-se por não atribuir nota com base no número de respostas corretas, mas sim — nos casos em que se considerou necessário avaliar — pela participação dos estudantes nas atividades. Essa decisão se fundamenta em evidências da literatura que investigam o impacto de diferentes formas de incentivo sobre a qualidade das interações e da aprendizagem em metodologias ativas, como o *peer instruction*.

James (2006) analisou o efeito de oferecer incentivos baseados no acerto das respostas em comparação com incentivos baseados apenas na participação. Os resultados mostraram que, quando a avaliação é vinculada ao acerto, os estudantes tendem a adotar estratégias voltadas prioritariamente à obtenção da resposta correta, em detrimento da exploração conceitual do problema. Essa postura reduz a disposição para compartilhar hipóteses parciais ou ideias que ainda não estão plenamente formuladas, o que pode limitar a riqueza das discussões e a ocorrência de explicações mais profundas entre pares. Por outro lado, quando a pontuação está atrelada apenas à participação, observou-se maior abertura para o debate e maior diversidade de argumentos apresentados, favorecendo a construção coletiva do conhecimento.

Em estudo posterior, James e Willoughby (2011) aprofundaram essa análise ao investigar as conversas entre estudantes durante questões com *clickers*. Os autores identificaram que a ausência de pressão para responder corretamente — quando a nota dependia apenas da participação — encorajava um diálogo mais colaborativo, no qual os estudantes se sentiam mais à vontade para expor dúvidas, levantar hipóteses alternativas e revisar coletivamente raciocínios equivocados. Esse ambiente reduzia a ansiedade associada à avaliação e promovia um espaço mais propício à aprendizagem conceitual, alinhando-se aos objetivos do *peer instruction* e de outras metodologias centradas no aluno.

Consequentemente, considerando que as sequências didáticas aqui propostas exploram a discussão entre estudantes, a explicitação de ideias e a revisão de concepções alternativas, a avaliação por participação se mostra mais coerente com esses objetivos. Tal abordagem não apenas diminui a pressão associada ao erro, como também reforça que o valor da atividade está no processo de reflexão e troca de ideias, e não unicamente no produto final representado pela resposta correta.

4 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo descrever os procedimentos e métodos adotados neste estudo, os quais são essenciais para a compreensão e análise dos resultados que serão apresentados e discutidos no capítulo seguinte. Inicialmente, discute-se a concepção e a execução da pesquisa. Em seguida, descrevem-se as características gerais das instituições de ensino onde o trabalho foi realizado. Posteriormente, são descritas a aplicação do FCI e das sequências didáticas. Na seção seguinte, detalha-se as condições em que ocorreu a entrevista com a professora regente da turma da escola estadual. Por último, descreve-se como foram realizados os experimentos que compõem as sequências relativas à primeira e à segunda lei de Newton.

4.1 CONCEPÇÃO DO ESTUDO E SUA EXECUÇÃO

Conforme mencionado no capítulo 1, o objetivo principal deste trabalho é aperfeiçoar o ensino de mecânica (especificamente, cinemática e leis de Newton) utilizando poucas sequências didáticas, centradas em pontos difíceis para o aluno e fundamentadas em resultados sólidos da psicologia cognitiva e da pedagogia.

A identificação desses pontos críticos foi realizada com base em um estudo da literatura científica (Halloun; Hestenes, 1985a, 1985b; Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992), em discussões com o orientador deste trabalho e em um levantamento próprio baseado no FCI (veja a subseção 5.1.2).

Entre os pontos identificados, as intervenções focaram, por ora, nos seguintes: a discriminação entre posição, velocidade e aceleração (no âmbito da cinemática), a concepção alternativa de que uma força resultante não-nula é necessária para que um corpo se mantenha em movimento (relacionada à primeira lei de Newton) e a crença de que força e velocidade são grandezas diretamente proporcionais (associada à segunda lei de Newton).

Foram formuladas as questões centrais das sequências didáticas, bem como questões de acompanhamento, com o objetivo de possibilitar a abordagem continuada dos pontos críticos ao longo do tempo. Conforme destaca Willingham (2011), a prática espaçada e realizada com esforço contribui para evitar o esquecimento, favorece a transferência do conhecimento para novas situações e libera espaço na memória de trabalho para novas aprendizagens (veja a subseção 3.5.5).

Os precursores das questões centrais das sequências didáticas sobre a primeira e a segunda lei de Newton foram testados em uma disciplina introdutória de mecânica newtoniana (Física 1- FIS 201), oferecida pelo Departamento de Física da UFV, durante uma aula *Peer Instruction* que introduziria esses conteúdos, como será discutido na seção 5.1.

Posteriormente, foram elaboradas as sequências didáticas bem como todo o material a elas associado, incluindo os vídeos dos experimentos. O material desenvolvido foi testado com estudantes do primeiro ano do Ensino Médio. Com efeito, a sequência sobre cinemática foi aplicada no CAP-COLUNI, conforme descrito na 4.4. Em virtude da suspensão das aulas provocada pela pandemia da covid-19, não foi possível aplicar, nesse colégio, as demais sequências da pesquisa, referentes à primeira e à segunda lei de Newton. Assim, essas sequências foram aplicadas em uma escola estadual de Minas Gerais (veja a seção 4.5).

A avaliação do trabalho foi realizada durante a aplicação, com base nas observações da autora e do orientador desta dissertação e, posteriormente, por meio de uma entrevista com a professora regente. É importante destacar que um teste mais sistemático da efetividade do material com pré e pós-teste aplicados a uma amostragem estatisticamente significativa dos estudantes, não será contemplado neste estudo, porém em um próximo.

4.2 AMBIENTAÇÃO DA PESQUISA

4.2.1 O CAp-Coluni

O CAp-COLUNI é uma escola pública, de administração federal, situada no campus da UFV e que oferece exclusivamente o Ensino Médio. Desde 2009, quando o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) passou a ser aplicado, o colégio tem se mantido na liderança entre as escolas públicas brasileiras (Wikipédia, 2019). No ano de 2018, por exemplo, os estudantes alcançaram a média de 708,05 pontos nas provas objetivas do ENEM (UFV, 2019).

O corpo docente do colégio é formado por professores efetivos contratados em regime de dedicação exclusiva (Silva, 2020), os quais dispõem de gabinetes próprios. A formação desses docentes é elevada: aqueles que não possuem doutorado ou mestrado têm, no mínimo, especialização nas áreas em que atuam (Cap-coluni, 2018). Esses profissionais recebem o apoio de monitores de graduação e pós-graduação, estagiários dos cursos de licenciatura e

estudantes do Programa de Iniciação à Docência (PIBID), que os auxiliam na execução das atividades (Silva, 2020).

O ingresso no corpo discente ocorre através de um Exame de Seleção ou de um Processo de Seleção de Vagas Ociosas. O Exame de Seleção é anual e disponibiliza 150 vagas exclusivamente para a primeira série. A procura por uma vaga através desse Exame é elevada: nos anos de 2015 e 2017, por exemplo, as relações de candidato-vaga foram 14,6 e 13,6, respectivamente (Wikipédia, 2019). Já o Processo de Seleção destina-se ao preenchimento de vagas ociosas na segunda e na terceira série, decorrentes de reprovação e evasão, e é realizado apenas quando essas vagas estão disponíveis. A disputa por uma vaga por meio desse Processo também é acirrada. A título de exemplo, em 2025 a relação de candidato por vaga foi de 28,66 para entrada na segunda série e de 11 para entrada na terceira série.

Os estudantes dispõem de salas de aula equipadas com computadores e projetores, laboratórios (Física, Química, Informática e Biologia), salas de estudos, de linguagens, de ciências humanas e de artes, anfiteatro, auditório e casa de vegetação (Cap-coluni, 2018). Além disso, eles têm acesso irrestrito a diversos ambientes da UFV, inclusive à Biblioteca Central (Wikipédia, 2019).

O laboratório de Física é destinado tanto a projetos de pesquisa e extensão quanto às aulas de Física Experimental (FEX). Embora o nome da aula remeta prioritariamente à realização de experimentos, suas atividades vão além: os estudantes também participam de discussões, assistem a filmes, entre outras atividades. Para essas aulas, as turmas são divididas em duas, com até vinte estudantes cada (Cap-coluni, 2018).

A matriz curricular do CAp-COLUNI é composta pela Base Nacional Comum e por uma Parte Diversificada, que visa atender aos interesses dos estudantes e aos objetivos da escola. A cada três anos ela passa por atualizações. Durante o triênio 2018-2020, o número de aulas semanais de Física foi de três para a primeira série em 2018, duas para a segunda em 2019 e três para a terceira série em 2020. Já o número de aulas semanais de Física Experimental era uma para a primeira série em 2018 e para a segunda série em 2019, não havendo essa aula para a terceira série em 2020. Tanto as aulas de Física quanto as de Física Experimental tinham duração de 50 minutos (Cap-coluni, 2018).

4.2.2 A Escola Estadual

A instituição de ensino em que foram aplicadas as sequências didáticas sobre as leis de Newton é uma escola pública da rede estadual de Minas Gerais, situada em uma pequena cidade da Zona da Mata Mineira, com cerca de cinco mil habitantes. O colégio funciona nos turnos matutino e vespertino e oferece o Ensino Fundamental II, o Ensino Médio e o curso técnico em Agronegócio para estudantes do Ensino Médio, todos na modalidade de ensino regular. Em 2019, sua pontuação média nas provas objetivas do ENEM foi de 539 pontos, com uma taxa de participação de 26% (20 participantes).

O corpo discente é composto por cerca de 500 estudantes, que ingressam por matrícula direta, ou seja, sem processo seletivo, ou por transferência de outras escolas.

O corpo docente é formado por 35 professores, a maioria efetiva e com formação em nível de pós-graduação, com carga horária semanal entre 31 e 40 horas.

Em relação à infraestrutura e equipamentos, a escola dispõe de 14 salas de aula, biblioteca com acervo de 13.380 livros, laboratório de informática, 15 televisores e 6 projetores. No entanto, a instituição não possui laboratório de Física e o acesso à internet é restrito a determinadas áreas.

4.3 A APLICAÇÃO DO FCI

O FCI foi aplicado em todas as quatro turmas das três séries do CAP-COLUNI ao longo da primeira semana de aula dos anos de 2018, 2019 e 2020. A aplicação ocorreu durante uma das aulas de FEX, descrita na subseção 4.2.1, e contou com a participação voluntária dos estudantes. Não foi atribuída nota a essa atividade. No total, participaram 1.361 (correspondentes a 94,8% dos 1.436 que estavam matriculados na escola), sendo 483 da primeira, 426 da segunda e 452 da terceira série. Para o teste, foi utilizada a versão traduzida e validada por Fernandes e Talim (2009). Antes do início, os discentes foram incentivados a responder ao questionário com seriedade. Toda a aplicação foi supervisionada, a fim de evitar qualquer tipo de consulta ou comunicação entre os estudantes. O tempo destinado à realização foi de 40 minutos, o que corresponde à duração padrão. Ao final, os estudantes devolviam o gabarito e o caderno de questões. A pontuação atribuída considerou apenas a participação, e não o acerto.

4.4 A APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE CINEMÁTICA

A sequência didática referente ao conteúdo de cinemática foi aplicada em 10/03/2025 no CAP-Coluni, caracterizado na subseção 4.2.1. Ela ocorreu no turno da tarde, como parte das aulas de FEX, também descrita na referida seção. Participaram as quatro turmas do primeiro ano do Ensino Médio, compostas por aproximadamente 40 estudantes cada, todos adolescentes e não inseridos no mercado de trabalho. Por ocorrer durante horário normal da aula de FEX, houve registro de presença.

O livro-texto adotado pelos alunos era “*Física*”, de autoria de Ricardo Helou Doca, Gualter José Biscoula e Newton Villas Bôas (Biscoula; Bôas; Doca, 2016). Até a data da aplicação da sequência, os discentes já haviam estudado os capítulos 1 e 2, os quais abordam, respectivamente, os tópicos “*Introdução à cinemática escalar e movimento uniforme*” e “*Movimento uniforme acelerado*”. Inclusive, eles estavam a uma semana da prova sobre esses assuntos.

A sequência didática elaborada foi regida pelo orientador desta dissertação, Álvaro Neves, com acompanhamento da autora e do professor regente das turmas, Daniel Ventura. Ela foi realizada com cada turma, em momentos distintos e consecutivos, com duração de 50 minutos cada.

4.5 A APLICAÇÃO DAS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS SOBRE A PRIMEIRA E A SEGUNDA LEI DE NEWTON

As sequências didáticas referentes à primeira e à segunda leis de Newton foram aplicadas a uma das turmas da primeira série do Ensino Médio da escola cujas características gerais estão descritas na seção 4.2.2. A participação da turma foi voluntária. A classe, com 30 discentes matriculados, foi selecionada por ser usualmente a mais participativa nas aulas. Todos esses estudantes eram adolescentes e não exerciam trabalho regular. As atividades ocorreram no contraturno, em decorrência da redução do número de aulas de Física impostas pela implementação do Novo Ensino Médio. Ambas foram conduzidas pela autora desta dissertação e não valeram nota.

A sequência relacionada à segunda lei de Newton foi aplicada no dia 06/06/2024, com início às 12 horas e 30 minutos. Na ocasião, a classe já havia concluído o estudo desse conteúdo e se preparava para a avaliação, agendada para dali a cinco dias. Contudo, a turma ainda não havia sido introduzida aos diferentes tipos de força.

Os livros-textos utilizados eram *Moderna Plus: Ciências da Natureza e suas Tecnologias: O conhecimento científico* e *Moderna Plus: Ciências da Natureza e suas Tecnologias: Universo e Evolução*, ambos de Amabis et al. (2020).

Dos estudantes matriculados na turma, 24 participaram da atividade, o que equivale a 80% de participação. A sequência foi aplicada em quatro aulas de 50 minutos cada, sendo duas realizadas antes e duas após o recreio, que teve duração de 15 minutos. A professora de Física regente da turma acompanhou a maior parte da aplicação.

A sequência sobre a primeira lei de Newton foi aplicada posteriormente, no dia 20/06/2024, também com início às 12 horas e 30 minutos e duração de 61 minutos. Àquela altura, os estudantes haviam sido introduzidos ao movimento circular, contudo, ainda não tinham estudado sobre tipos de força. Compareceram 24 estudantes e todos participaram, o que corresponde a 80% de participação. A sequência foi acompanhada integralmente pelo orientador desta dissertação e por um dos seus assistentes.

4.6 A ENTREVISTA COM A PROFESSORA DE FÍSICA DA ESCOLA ESTADUAL

No dia 5 de setembro de 2024, foi realizada uma entrevista *online* com a professora de Física responsável pela turma que participou das sequências didáticas relacionadas à primeira e à segunda lei de Newton. O objetivo foi investigar as impressões da docente sobre as atividades realizadas. A entrevista, conduzida pela autora da dissertação, foi gravada com o consentimento da professora para garantir um registro completo e a precisão das respostas. Ao iniciá-la, a docente foi incentivada a expressar suas opiniões de forma sincera. A entrevista teve duração de 16 minutos e 29 segundos, e seus detalhes serão discutidos na subseção 5.6.2.

4.7 MÉTODOS EXPERIMENTAIS

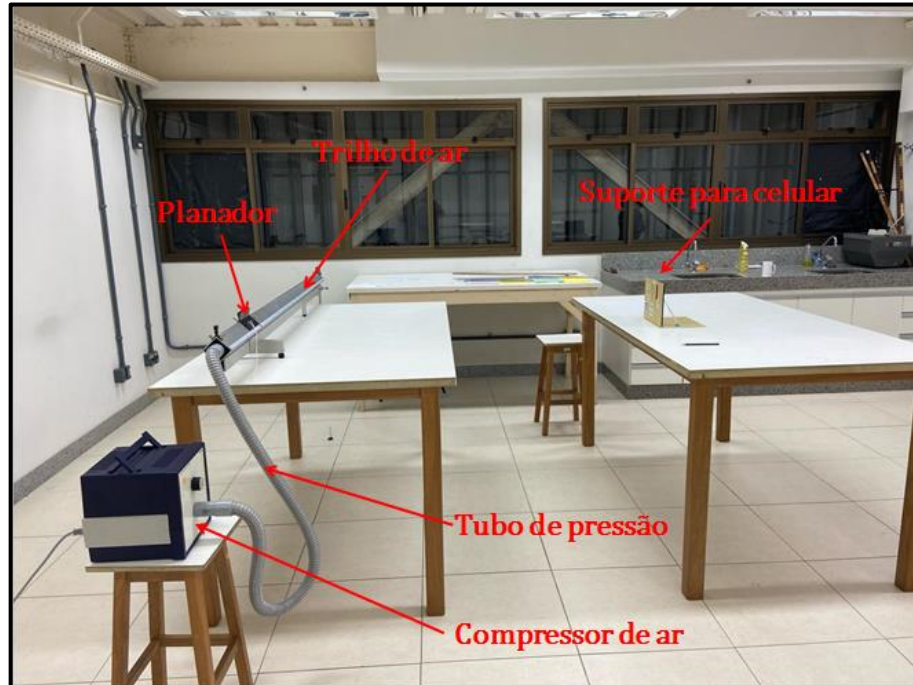
Conforme será visto nas subseções 5.3.1 e 5.4.1, nas sequências didáticas sobre as leis de Newton as hipóteses levantadas pelos estudantes em torno de uma questão central são confrontadas com fatos experimentais que os estudantes são levados a analisar e discutir. A execução desses experimentos, no entanto, foi uma tarefa árdua. De fato, mesmo com objetivos claros e roteiro definido, surgiram diversos contratemplos, sendo necessárias várias tentativas até que os experimentos esperados pudessem ser obtidos. Considera-se que a descrição dos materiais e procedimentos utilizados irá facilitar a reprodução desses

experimentos por outros professores ou a adaptação para experimentos semelhantes. Esse é o objetivo desta seção.

Recapitulando, na sequência didática sobre a segunda lei de Newton é exibido o gráfico de velocidade em função do tempo para o movimento de um planador sobre um trilho de ar sem atrito, na presença de uma força resultante constante. Também são mostrados gráficos do movimento de um planador com massa fixa sob ação de diferentes forças resultantes constantes e de um planador com diferentes massas sob ação de uma mesma força resultante. Por outro lado, na sequência didática sobre a primeira é apresentado o gráfico de velocidade em função do tempo que representa o movimento de um planador sobre um trilho de ar sem atrito, na situação em que a força resultante é nula. Adicionalmente, mostra-se o gráfico de velocidade em função do tempo para o movimento de um planador sob ação de diferentes forças de atrito.

Para obtenção desses gráficos, foram gravados vídeos do movimento do planador. As filmagens foram analisadas com o auxílio do *software Tracker*, disponível em <http://physlets.org/tracker/>, que permite o rastreamento de objetos com obtenção de dados cinéticos, como velocidade e tempo. A figura 12 abaixo exhibe a montagem utilizada, com destaque para alguns dos materiais.

Figura 12 – Montagem utilizada para a realização dos experimentos que compõem as sequências didáticas sobre a primeira e a segunda lei de Newton, com destaque para alguns dos materiais



Fonte: Própria autora.

A tabela 4, abaixo, exhibe os materiais utilizados e suas respectivas quantidades.

Tabela 4 - Materiais utilizados nos experimentos das sequências didáticas sobre a primeira lei e a segunda lei de Newton e suas respectivas quantidades

QUANTIDADE	MATERIAIS
1	Trilho de ar
1	Compressor de ar
1	Planador
1	Porta-pesos
Conforme a necessidade	Pesos (10g)
1	Polia (de baixa fricção)
Conforme a necessidade	Hastes
Conforme a necessidade	Garras
Conforme a necessidade	Fio de algodão (para conectar o planador ao porta-pesos)
1	Celular (para gravação dos vídeos)
1	Suporte para o celular
Conforme a necessidade	Adesivo de Contato
1	Régua (15cm)

1	Estilete (para fazer abertura no suporte para o celular)
1	Lápis
Conforme a necessidade	Corda
1	Balança digital de bancada (para medida das massas)
1	Pincel vermelho
Conforme a necessidade	Fita adesiva branca
Conforme a necessidade	Fita adesiva vermelha
Conforme a necessidade	Fita adesiva verde
1	Mangueira
2	Abraçadeiras metálicas
2	Tubo de pressão (1,5m)
Conforme a necessidade	Pilhas
Conforme a necessidade	Cola quente
1	Trena

Fonte: Própria autora.

Antes de iniciar os experimentos, alguns cuidados importantes precisaram ser adotados. Um deles consistiu em **nivelar o trilho de ar**, ou seja, deixá-lo na direção horizontal, com o objetivo de eliminar possíveis componentes de força normal ao longo dessa direção.

Por demandar um tempo razoável, essa etapa exigiu muita paciência. Ressalta-se que, devido a deformações na superfície do trilho, não foi possível obter um nivelamento perfeito.

Após diversas tentativas utilizando tanto o nível de bolha quanto o presente em aplicativo de celular, concluiu-se que a maneira mais eficiente consistia em posicionar o planador parado em diferentes pontos do trilho, com o compressor previamente ligado e ajustado para o fluxo máximo. Em cada ponto, era observado se o planador tendia a se mover para algum sentido, o que indicava que o equipamento não estava devidamente nivelado. Nesse caso, eram ajustados os dois parafusos situados na base do trilho até que o corpo permanecesse em repouso em relação ao trilho. É importante ressaltar que, após alguns instantes, uma leve oscilação do planador era inevitável em virtude do ar advindo do próprio compressor.

Durante essa etapa, foi tomado o cuidado de manter as janelas e a porta do laboratório fechada para evitar a influência de correntes de ar.

Durante a realização dos experimentos, foi observado que o **alinhamento entre o celular e o trilho** também é de suma importância, pois o desalinhamento tem efeito negativo nos resultados experimentais. De fato, em muitos gráficos de velocidade em função do tempo

correspondentes ao movimento do planador com força resultante nula, foi verificada uma redução considerável na velocidade ao longo do tempo, o que estava em desacordo com a primeira lei de Newton. Depois de uma reflexão intensa e de testes com o celular desalinhado em relação ao trilho, descobriu-se ser essa a causa do problema.

Diante disso, foi necessário refletir sobre uma maneira eficiente de garantir o alinhamento correto desses componentes. Antes de iniciar essa etapa, foi preciso fixar o celular no suporte. Para isso, foi realizada uma abertura no suporte de dimensões suficientes para comportar a câmera do celular, com o auxílio de um estilete. Em seguida, a câmera foi posicionada sobre a abertura e, utilizando um adesivo de contato, fixou-se o celular. O suporte utilizado permitia variar verticalmente a inclinação do celular. Para mantê-la fixa, uma régua foi integrada ao suporte com adesivo de contato. A figura 13, apresentada abaixo, mostra o celular já fixado ao suporte.

Figura 13 - Celular fixado no suporte com adesivo de contato e régua para manter fixa a angulação do suporte



Fonte: Própria autora.

Concluída essa etapa, o suporte com o celular foi posicionado a uma distância do trilho que permitisse à câmera filmar toda a sua extensão, conforme ilustrado na figura 14 abaixo.

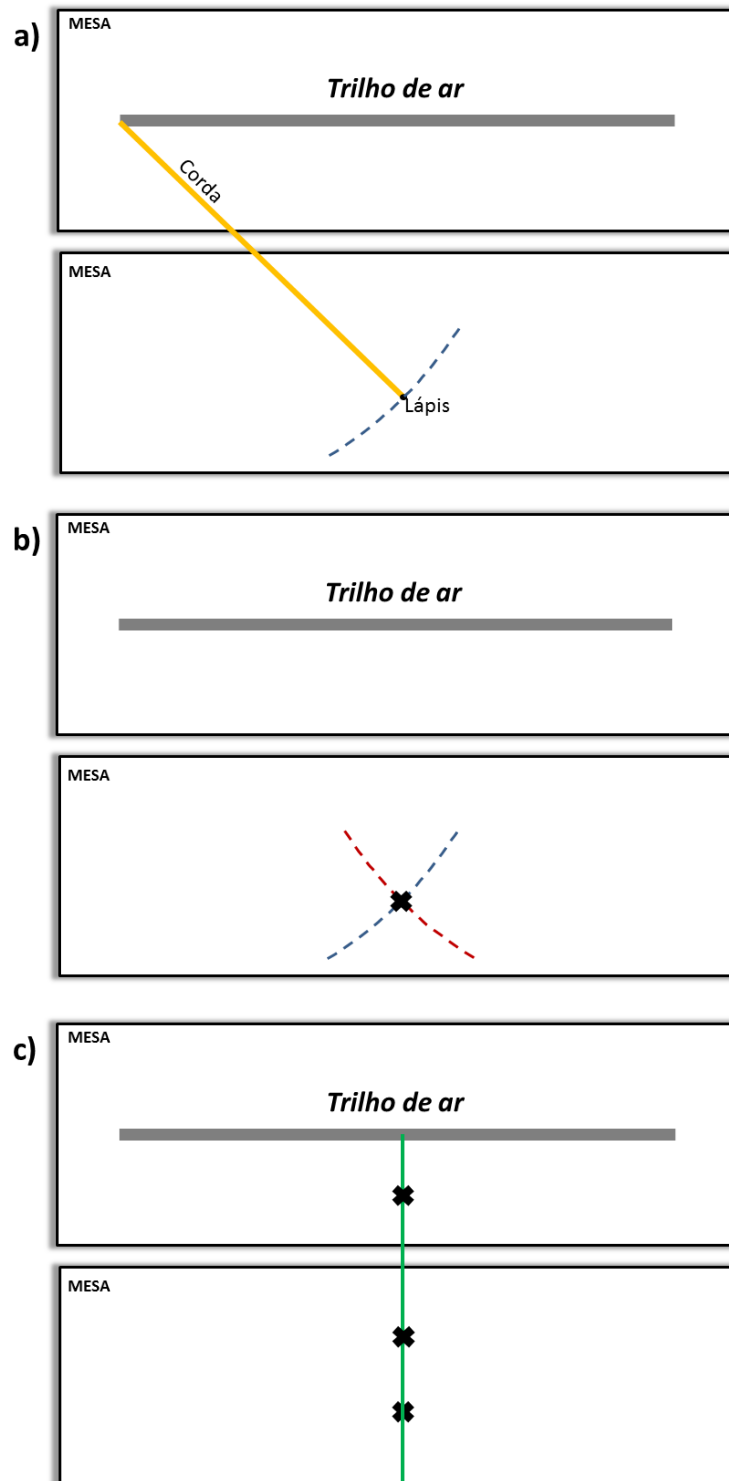
Figura 14 – Suporte com celular posicionado sobre uma mesa em uma posição que permitiu à câmera filmar o movimento de um planador por toda a extensão de um trilho de ar, apoiado sobre uma segunda mesa

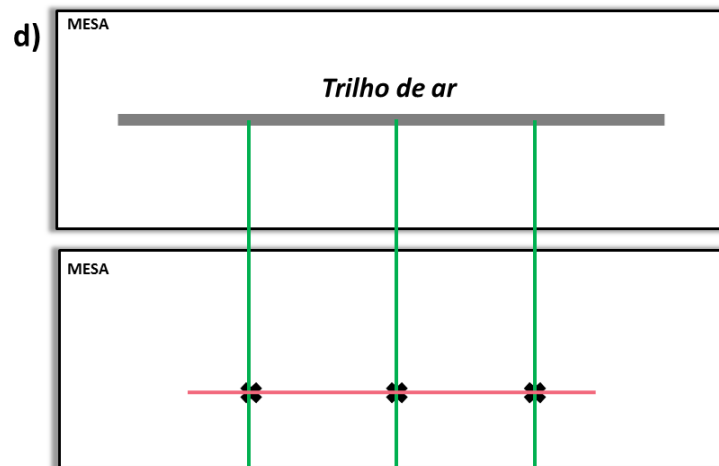


Fonte: Própria autora.

A distância foi medida com auxílio de uma trena e seu valor registrado. Em seguida, uma corda foi amarrada a um lápis. Posteriormente, a corda foi segurada firmemente a uma das extremidades do trilho, esticada e, sobre a mesa na qual se encontrava o suporte, foi traçado um arco de circunferência. A figura 15a abaixo ilustra esse procedimento. Mantendo-se inalterado o comprimento da corda, esse processo foi repetido com a corda posicionada na outra extremidade do trilho, resultando em um segundo arco. O ponto de interseção entre os dois arcos foi marcado sobre a superfície da mesa (veja a figura 15b). A fim de obter pontos adicionais, a corda foi encurtada e esse processo foi repetido outras vezes, originando novos pontos de interseção. Utilizando lápis e régua, foi traçada uma reta passando por esses pontos, como mostra a figura 15c. Todo esse procedimento foi repetido com o propósito de traçar outras duas retas perpendiculares ao trilho: uma à esquerda e a outra à direita da anterior. Sobre cada uma das três retas, marcou-se a distância previamente medida entre a câmera e o trilho. Por fim, os três pontos marcados foram conectados por uma nova reta (veja a figura 15d). Posicionando o suporte ao longo dessa última reta, foi assegurado o alinhamento adequado entre a câmera e o trilho.

Figura 15 – Etapas do procedimento empregado para alinhar celular e trilho



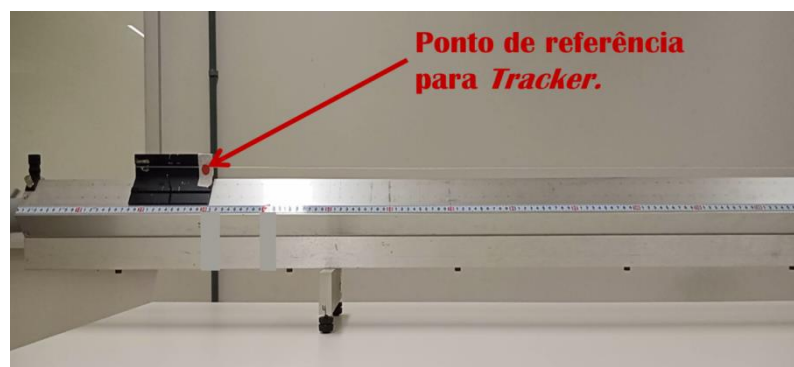


Fonte: Própria autora.

Legenda: Em (a), uma corda que está firmemente segurada a uma das extremidades de um trilho de ar apoiado sobre uma mesa, é esticada e, sobre uma segunda mesa, um arco de circunferência é traçado com o lápis que está amarrado à corda. Em (b), mostra-se a marcação do ponto de interseção entre esse arco e um segundo, obtido repetindo-se o procedimento realizado em (a) com a corda posicionada sobre a outra extremidade do trilho. Em (c), pontos de interseção adicionais são marcados nas mesas, repetindo-se os passos anteriores com a corda cada vez mais curta e uma reta passando pelos pontos de interseção é traçada. Em (d), são acrescentadas uma reta à esquerda e à direita da anterior e realizado, sobre cada uma das três retas, a marcação da distância previamente medida entre o celular e o trilho, adequada para filmar toda a extensão do equipamento. Finalmente, uma nova reta é traçada unindo os três pontos, ao longo da qual o suporte deve ser posicionado, garantindo-se o alinhamento entre o celular e o trilho.

Para análise do movimento no *Tracker* foi fixada uma fita adesiva branca sobre o planador, na qual foi realizada uma marcação circular com pincel vermelho. Essa marcação foi utilizada para o rastreamento do planador no programa. A figura 16, apresentada a seguir, ilustra o modo como essa marcação deve ser feita.

Figura 16 – Marcação do círculo vermelho sobre uma fita adesiva branca fixada sobre o planador



Fonte: Própria autora.

Legenda: O círculo é utilizado pelo *Tracker* para rastrear o movimento do planador.

Além disso, foram fixadas duas fitas adesivas brancas na parte inferior do trilho e feita uma marcação com pincel vermelho sobre cada uma delas. A distância entre as marcações foi medida e anotada para ser utilizada como referência de distância para o *Tracker*. É importante destacar que a parede escolhida como fundo para a filmagem contrastava com a cor do objeto a ser rastreado, visando facilitar a análise do movimento no programa.

Para a realização dos experimentos da sequência didática sobre a segunda lei de Newton, uma polia foi incorporada à extremidade final do trilho de ar, utilizando hastes e garras. Sobre essa polia, passou-se um fio de algodão, cuja extremidade inicial estava amarrada a um planador e extremidade final, a um porta-pesos. Esse arranjo permitiu aplicar uma força constante ao planador, necessária a esses experimentos. Em seguida, uma fita adesiva verde foi colada na parte inferior do trilho para marcar a posição em que o planador começava a ser puxado, como ilustra a figura 17 abaixo.

Figura 17 – Marcação sobre o trilho de ar indicando a posição em que o planador passa a ser puxado pelo porta-pesos



Fonte: Própria autora.

Legenda: A marcação, feita com fita adesiva verde, corresponde ao ponto em que o planador começa a ser puxado através do fio de algodão pelo porta-pesos em queda.

Posteriormente, o comprimento do fio de algodão foi ajustado de maneira que, a partir dessa marca, o planador percorresse toda a extensão restante do trilho sendo puxado através do fio pelo porta-pesos em queda. Com o compressor ligado e regulado para o fluxo de ar máximo, o planador foi posicionado sobre a marca verde e liberado, tendo o seu movimento registrado em vídeo. Com o propósito de obter o movimento do planador com uma massa fixa e sob diferentes forças resultantes constantes, pesos foram adicionados ao porta-pesos. É importante destacar que todas as demais condições experimentais tais como, o fluxo de ar, a marca verde no trilho, a massa do planador e o comprimento do fio de algodão, permaneceram inalteradas. Para cada massa do conjunto formado pelos pesos e porta-pesos,

liberava-se o planador a partir da marca verde enquanto um vídeo do seu movimento era gravado. Visando obter o movimento do planador sob uma força resultante constante e massas distintas, variou-se a massa do mesmo, sem modificar as demais condições experimentais. Para cada massa utilizada, novos vídeos eram feitos. A estratégia empregada para aumentar a massa do planador consistiu em fixar, com auxílio de cola quente, pilhas em seus lados, por apresentarem mais estabilidade que os pesos que poderiam se desprender do planador durante seu movimento.

Para realizar os experimentos da sequência didática sobre a primeira lei de Newton, uma fita adesiva vermelha foi acrescentada na parte inferior do trilho, como mostrado na figura 18 abaixo, marcando a posição em que o planador cessaria de ser puxado.

Figura 18 – Marcação no trilho de ar das posições inicial e final da tração do planador



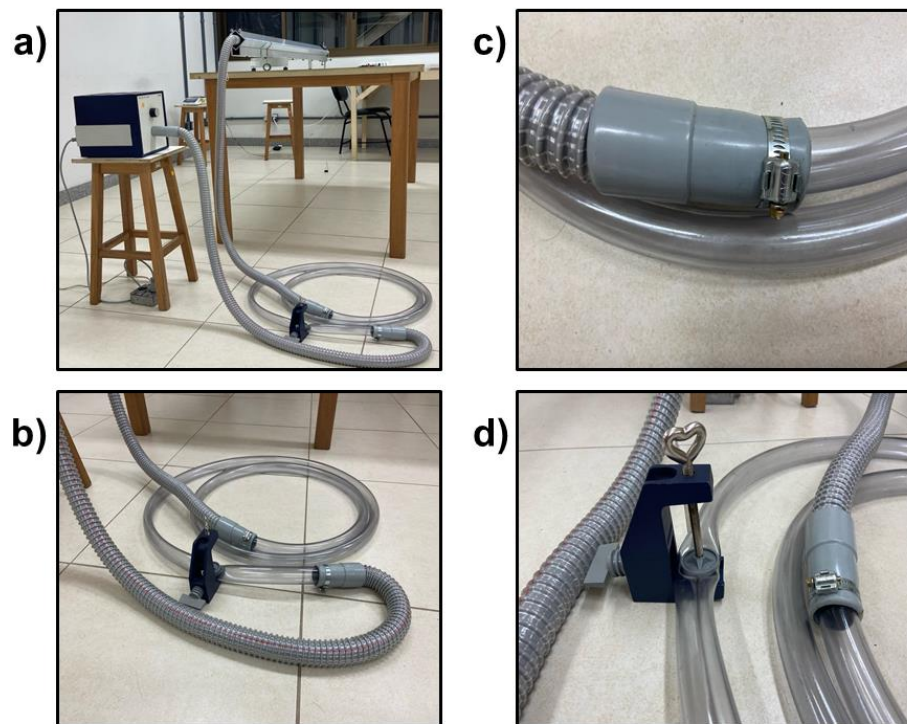
Fonte: Própria autora.

Legenda: A fita adesiva vermelha indica a posição do planador no momento em que ele deixa de ser puxado pelo porta-pesos. A fita adesiva verde, previamente fixada, marca a posição em que o planador começa a ser puxado.

Em seguida, o comprimento do fio de algodão foi ajustado de modo que o planador fosse puxado através do fio pelo porta-pesos em queda, apenas na porção do trilho compreendida entre as marcas verde e vermelha. Para o movimento do planador sob uma força resultante nula, primeiramente, o compressor de ar foi ligado e seu nível ajustado para o fluxo máximo. Em seguida, o planador foi posicionado sobre a fita adesiva verde e liberado, enquanto tinha seu movimento gravado. Para o movimento do planador com forças de atrito progressivamente maiores, o fluxo de ar foi gradualmente reduzido, mantendo-se inalteradas as demais condições experimentais. A cada novo nível de fluxo, o planador era liberado a partir da marca verde e seu movimento, filmado. Os gráficos de velocidade em função do tempo obtidos por meio do *Tracker* revelaram, contudo, que os resultados não eram reprodutíveis. Adicionalmente, apesar permitirem visualizar a diminuição da velocidade do planador, coerente com o aumento da força de atrito, não foi possível observar sua diminuição

até o repouso. Para isso, seria necessário reduzir o fluxo de ar além do mínimo alcançado pelo compressor. A solução encontrada consistiu em incorporar à montagem um segundo tubo de pressão conectado ao primeiro por meio de uma mangueira com diâmetro compatível com ambos. Para vedar as conexões entre a mangueira e os tubos, foram utilizadas abraçadeiras metálicas. Além disso, uma garra foi fixada na mangueira permitindo seu aperto controlado, o que possibilitou uma nova forma de apertar o fluxo, independentemente do compressor. A figura 19 abaixo apresenta essa configuração experimental.

Figura 19 – Arranjo utilizado para reduzir o fluxo de ar de maneira independente do compressor



Fonte: Própria autora.

Legenda: O arranjo consiste na introdução no aparato experimental de um segundo tubo de pressão conectado ao primeiro por meio de uma mangueira com um diâmetro que permite encaixá-la aos tubos, como mostrado em (a) e (b). Uma abraçadeira metálica é utilizada nas junções entre a mangueira e os tubos para evitar o vazamento do ar do compressor para o ambiente (c). Uma garra fixada na mangueira permite seu apertamento, reduzindo o fluxo de ar (d).

Com a introdução desse arranjo, cuidados adicionais foram necessários. A temperatura do compressor passou a ser constantemente conferida com o toque das mãos, para evitar o superaquecimento. Também foram feitas verificações regulares nas junções entre os tubos de pressão e a mangueira para detectar possíveis vazamentos de ar, causados pelo efeito de

dilatação térmica. Quando necessário, as abraçadeiras eram novamente apertadas. É importante ressaltar que o problema da reprodutibilidade, contudo, não foi contornado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A principal contribuição deste trabalho foi a elaboração e teste de três sequências didáticas – uma relacionada com a primeira lei de Newton, outra sobre a segunda lei e uma terceira sobre cinemática. Elas são tentativas de auxiliar o estudante a vencer dificuldades conceituais frequentes e de difícil superação por meio dos métodos tradicionais de ensino. Elas procuram atingir esse propósito lançando mão de elementos de métodos didáticos eficazes e, sobretudo, levando o discente a explicitar as suas concepções sobre o movimento e confrontá-las com fatos experimentais, trabalhando coletivamente com colegas. O material desenvolvido busca ainda instruir os estudantes de forma prática e direta acerca da essência do método científico.

As dificuldades conceituais acima mencionadas estão identificadas na literatura científica (seção 3.1) e foram sondadas pela autora em interações com estudantes universitários e do Ensino Médio. Este trabalho é sintetizado na seção 5.1. Na seção seguinte, são explicitados os objetivos instrucionais específicos das intervenções didáticas desenvolvidas e explicada a estrutura e o uso de cada uma. As seções 5.3, 5.4 e 5.5 descrevem separadamente cada uma das três intervenções, explicam a sua lógica subjacente e descrevem as observações e resultados obtidos na sua aplicação com estudantes do Ensino Médio. Por fim, a seção 5.6 apresenta as impressões pessoais acerca das sequências didáticas sobre as leis de Newton.

5.1 LEVANTAMENTO DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

5.1.1 No Ensino Superior

Nesta subseção, são descritos e examinados fragmentos dos argumentos frequentemente utilizados por estudantes universitários que revelam o seu pensamento sobre o movimento. Tratam-se de exemplos reais, retirados da prática didática do orientador deste trabalho e testemunhados, ou relatados para a autora. Acredita-se que a discussão deles revela vividamente a visão de muitos alunos sobre a mecânica. Em muitos casos, ficará clara a relação dessas concepções com o pensamento aristotélico e medieval, delineados na seção 2.1, embora o aluno moderno não utilize termos como “ímpeto”, “resistência” e “lugar natural”. Vale ressaltar que o sistema de concepções dos estudantes é muito menos

elaborado e logicamente consistente que o de Aristóteles e o dos estudiosos da Idade Média.

Em uma aula *Peer Instruction* que introduziria a primeira e segunda lei de Newton, o professor inicia propondo o teste conceitual mostrado na figura 20 abaixo. Ele enfatiza que a questão diz respeito ao “mundo real” e que é importante justificar-se a resposta.

Figura 20 - Teste conceitual apresentado para alunos em uma disciplina introdutória de mecânica

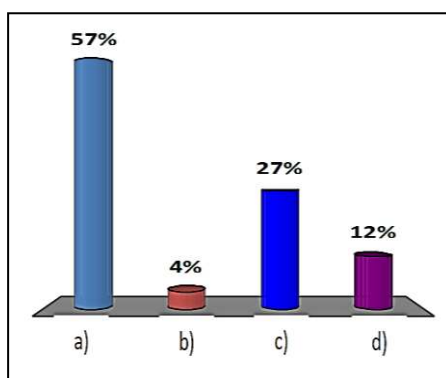
Você empurra um bloco de aço muito liso sobre uma superfície de gelo igualmente lisa e plana. **Como esse corpo se move a partir do momento que ele sai da sua mão?**

- a. Move-se em linha reta e o módulo da velocidade diminui muuuuito lentamente até o corpo parar.
- b. Move em linha reta e o módulo da velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor máximo.
- c. Move em linha reta e o módulo da velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor máximo, a partir do qual a velocidade passa a diminuir lentamente até o corpo parar.
- d. Nenhuma das alternativas acima.

Fonte: Própria autora

Depois de enviarem as suas respostas individuais, alguns alunos compartilham as suas respostas e justificativas com a turma. Percebe-se uma concentração nas alternativas A e C. A maioria, mesmo entre aqueles que respondem corretamente (alternativa A), não fornece uma explicação baseada na primeira ou segunda lei de Newton. As respostas vêm essencialmente da crença do aluno de que já presenciou experiências análogas àquela retratada na questão. Sem ainda analisar as respostas, mas depois de apontar a falta de justificativas científicas na maioria delas, o professor propõe que os alunos discutam suas perspectivas e busquem explicações mais sólidas. Depois de alguns minutos de debate eles respondem novamente. Segue na figura 21 abaixo a distribuição das respostas.

Figura 21 - Distribuição das respostas no teste conceitual apresentado para alunos em uma disciplina introdutória de mecânica



Fonte: Própria autora

Apesar de um pequeno aumento no número de respostas certas, 43% delas permanece incorreta. Mais de 30% dos estudantes (alternativas B e C) afirmam que a velocidade do bloco aumenta por algum tempo, após ele perder contato com a mão do agente.

Ao serem confrontados com o fato de que, de acordo com a segunda lei de Newton, essa aceleração implicaria em uma força resultante não nula, no sentido do movimento do bloco. Ao serem indagados sobre que força seria essa e quem a exerceria, muitos respondem que seria a “força transmitida pela mão da pessoa”, ou simplesmente que essa seria a “força necessária para manter o movimento”. Há nesses argumentos ecos claros do pensamento aristotélico e medieval. De fato, acredita-se que o movimento requer uma força (ímpeto), que nesse caso seria transmitida para o corpo pela mão do agente. Em uma tradução moderna dessa ideia medieval, pode-se dizer que a ação do agente em contato com o bloco transferiria para esse um “combustível” que sustentaria o seu movimento após o término do contato. Essa “força motriz” presente no bloco o levaria a uma velocidade terminal (alternativa B), ou ainda (alternativa C) produziria um aumento na sua velocidade, mas depois se dissiparia gradualmente levando o corpo ao repouso. Vê-se aqui quatro dos conhecimentos intuitivos relacionados com o ímpeto listados na tabela 2.

Na figura 22, abaixo, segue outra questão utilizada no mesmo contexto da anterior. Ela corresponde à questão 21 do FCI de acordo com a versão padrão. Mesmo após terem concluído o estudo das leis de Newton, menos da metade (44%) dos alunos responde corretamente, indicando a alternativa E. Cerca de 10% respondem A, 10% B, 29% C e 7% D.

A alternativa A vem, sobretudo, da ideia sintetizada na tabela 2 como “Perda e

recuperação do ímpeto original”. Ao ser ligado, o motor impulsiona o disco na direção vertical, porém esse “ímpeto” se perderia gradualmente, de modo que o “ímpeto original” que produzia o movimento horizontal volta a dominar.


A escolha da alternativa B deriva da concepção denominada “concatenação de influências” na referida tabela. Entende-se novamente que haveria sempre a força horizontal e que a partir do ponto b teria também a força vertical do motor, que por ser a última a ser última aplicada, determinaria o movimento – ele seria na direção desta força.

No caso da resposta C, acredita-se que a existência de uma força horizontal e uma vertical leva a um movimento que concilia a tendência imposta por cada uma (vide “conciliação das forças” na tabela).

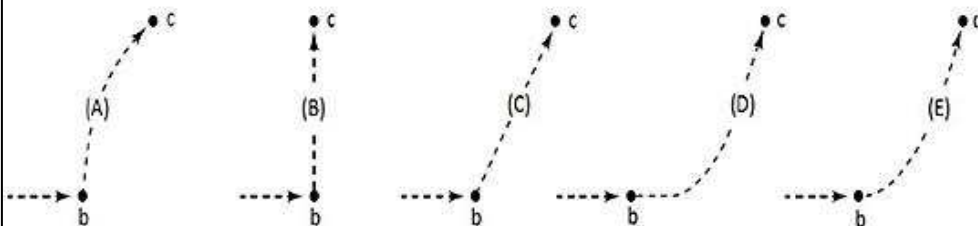
A resposta da alternativa D vem da concepção descrita na tabela como “acúmulo gradual do ímpeto”. De acordo com ela, o efeito da força, que seria produzir um movimento vertical, se instaria no corpo aos poucos ou de forma retardada. O “combustível” necessário para o movimento se acumularia gradualmente no corpo.

Figura 22 – Questão 21 do FCI na versão padrão apresentada para alunos em uma disciplina introdutória de mecânica

Um disco voador desloca-se lateralmente no espaço exterior do ponto “a” para o ponto “b” como mostrado abaixo. O disco voador não está sujeito a nenhuma força exterior. Chegando na posição “b”, o motor do disco voador é ligado e produz nele uma força constante em um ângulo perpendicular à linha “ab”. Essa força constante é mantida até que o disco voador alcance o ponto “c” no espaço.



21) Qual das trajetórias abaixo melhor representa a trajetória do disco voador entre os pontos “b” e “c”?



Fonte: FERNANDES, 2011.

5.1.2 No Ensino Médio

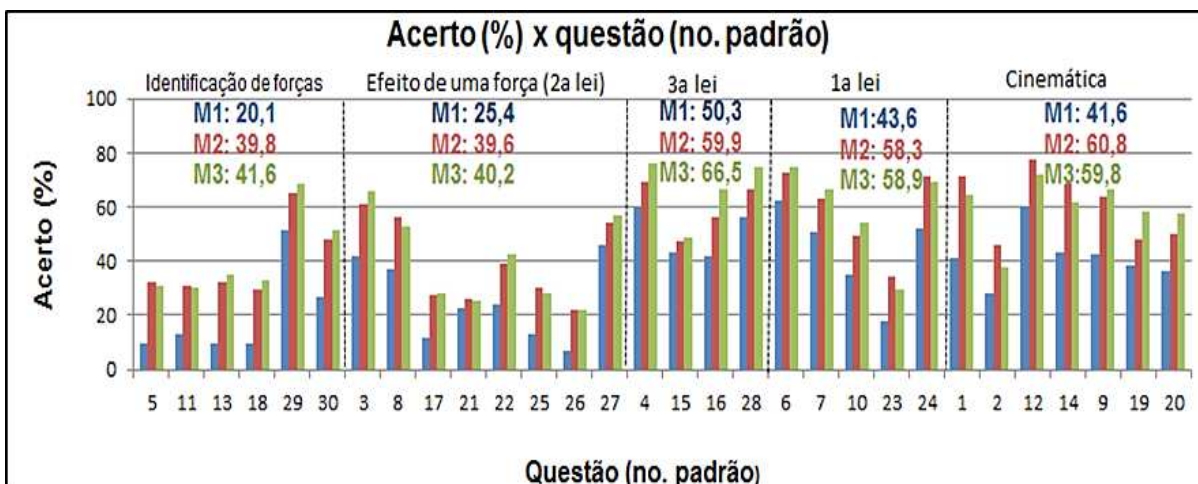
O FCI foi aplicado na primeira semana de aula de 2018, 2019 e 2020 para os estudantes das três séries do CAp-COLUNI, utilizando o procedimento delineado na seção 4.3. Como foi explicado em detalhe na seção 3.1 trata-se de um teste padrão, elaborado para sondar a compreensão conceitual de estudantes do Ensino Superior, ou Médio, acerca dos fundamentos da mecânica newtoniana. Os resultados permitem avaliar que conhecimentos têm, ou não, o ingressante na escola, o que ele aprende no seu estudo de mecânica no primeiro ano com os métodos em vigor e aquilo que retém até o início do terceiro.

Participaram do teste 1361 alunos, correspondentes a 94,8% dos 1436 que estavam matriculados na escola sendo, 483 da primeira, 426 da segunda e 452 da terceira série. As notas médias obtidas pelos estudantes da primeira, segunda e terceira série foram 34,5%, 50,4% e 51,7%, respectivamente. Pode-se calcular o ganho de Hake (vide seção 3.4) da metodologia utilizada no CAp-COLUNI considerando a nota média da primeira série como o resultado do pré-teste e a da terceira como do pós-teste. Isso leva a um ganho normalizado de 0,26. Vale mencionar que este cálculo é apenas uma estimativa, já que os alunos do pré e pós- teste não são os mesmos.

Os resultados do FCI no CAp-COLUNI encontram-se sintetizados no gráfico 1. Na abscissa, estão representadas as questões do teste de acordo com sua numeração na versão padrão. Elas estão agrupadas em cinco áreas, de acordo com o conhecimento principal requerido na sua resolução. A área mais à esquerda, é constituída por seis questões cujas respostas dependem essencialmente de o aluno identificar que forças atuam num certo corpo em dadas situações. A segunda área, constituída pelas questões 3, 8, 17, 21, 22, 25, 26 e 27, requer que o estudante conheça qual é o efeito de uma força no movimento de uma partícula, ou seja, a segunda lei de Newton. A terceira área, composta pelas questões 4, 15, 16 e 28, demanda o conhecimento da terceira lei de Newton. A quarta endereça a primeira lei de Newton. Para responder a essas questões de modo correto, é necessário conhecer o comportamento de um corpo quando a resultante das forças sobre ele é nula. A quinta área tem questões sobre cinemática. A solução delas envolve, por exemplo, o conhecimento dos fatos sobre o movimento de projéteis e a distinção entre posição, velocidade e aceleração. Dentro de cada área, estão representados os percentuais de acerto médios para a primeira, segunda e terceira série. Os dados referentes a cada série do ensino médio são representados por diferentes cores. Aqueles em azul referem-se aos dados da primeira. Os que estão em vermelho, tratam-se dos dados da segunda. Em verde, os dados da terceira série. Na ordenada

desse gráfico, estão representados os percentuais de acerto. Cada barra representa o percentual de acerto por questão.

Gráfico 1 - Resultado da aplicação do FCI no Cap-Coluni no triênio 2018-2020



Fonte: Própria autora

Legenda: O eixo horizontal contém o número de cada questão do FCI, enquanto o vertical corresponde ao percentual de respostas corretas dos alunos de cada série (1ª série barras azuis, 2ª vermelhas e 3ª verdes). As questões foram separadas de acordo com o conteúdo-chave demandado para resolvê-la, nomeado acima de cada grupo. Os valores M1, M2 e M3 são os acertos médios nas questões de cada grupo, respectivamente entre os alunos da 1ª, 2ª e 3ª séries.

Considera-se como área crítica aquela que os estudantes menos sabem antes e depois da instrução. Analisando o gráfico 1 com base nesse parâmetro, nota-se que há duas delas: identificação de forças e segunda lei de Newton. Conforme se vê, foram nessas áreas que todas as séries obtiveram os menores acertos médios percentuais. Assim, acredita-se que deve dedicar mais tempo e esforço no ensino do reconhecimento das forças que atuam em um corpo e da segunda lei de Newton.

Será analisada apenas uma questão de cada área. Para a escolha delas, foi definido um critério semelhante ao usado para a identificação das áreas críticas: serão avaliadas aquelas que possuem os menores acertos percentuais antes e depois do ensino. Com base nesse parâmetro, foram escolhidas as questões 5 de identificação de forças, 21 de segunda lei, 15 de terceira lei, 23 de primeira lei e 20 de cinemática.

A tabela 5 abaixo sintetiza os resultados da análise das respostas dos alunos da primeira, segunda e terceira série do CAP-COLUNI ao FCI. Nela, a primeira coluna representa as questões do teste na sua versão padrão. A segunda, o grupo a que pertence cada uma delas. A terceira mostra as alternativas e o percentual de acerto para cada questão. A quarta, a quinta e a sexta exibem os percentuais correspondentes às alternativas e ao acerto de cada questão para a primeira, segunda e terceira série, respectivamente. Nessas colunas, os números destacados de verde correspondem à opção correta. A sétima apresenta o diagnóstico referente a cada alternativa.

Tabela 5 – Síntese dos resultados da análise das respostas dos alunos do CAP-COLUNI ao FCI aplicado no triênio 2018-2019

Questão	Grupo	Alternativa	1a série (%)	2a série (%)	3a série (%)	Diagnóstico
1	Cinemática	A	16,1	7,7	13,5	Objetos pesados caem mais rápido
		B	6,2	5,2	4,9	
		C	41	71,6	64,2	
		D	31,7	13,4	15,7	
		E	4,6	1,6	1,8	
		Acerto	41	71,6	64,2	
2	Cinemática	A	28,4	45,8	37,8	Objetos pesados caem mais rápido
		B	19,7	18,1	24,1	
		C	5	4,2	3,8	
		D	37,1	25,8	29,6	Objetos pesados caem mais rápido
		E	7,7	4,9	4,2	
		Acerto	28,4	45,8	37,8	
3	Resultado da ação de uma força (2a Lei de Newton)	A	7,2	5,9	5,1	Força causa aceleração à velocidade terminal
		B	36,6	26,8	23,5	A gravidade aumenta enquanto o objeto cai / Aceleração implica em aumento de força
		C	42	60,8	65,9	
		D	2,5	0,9	0,9	A gravidade é intrínseca à massa
		E	7,9	4	4	A pressão do ar contribui com a gravidade
		Acerto	42	60,8	65,9	
4	3a lei de Newton	A	36,6	29,3	23,5	Maior massa implica em maior força
		B	1,2	0,5	0,2	
		C	0,2	0,5	0	Obstáculos não exercem força

		D	1	0	0	Maior massa implica em maior força
		E	60	69,2	75,9	
		Acerto	60	69,2	75,9	
		A	3,3	4,9	6	Obstáculos não exercem força
		B	9,7	32,2	31	
5	Reconhecendo forças	C	36,2	10,1	9,3	Necessidade de uma força para haver movimento/ Ímpetus circular/ Movimento implica em força ativa
		D	32,5	44,6	42,7	Necessidade de uma força para haver movimento/ Ímpetus circular/ Movimento implica em força ativa
		E	17	8	10,6	Necessidade de uma força para haver movimento/ Ímpetus circular/ Movimento implica em força ativa/ Força centrífuga
		Acerto	9,7	32,2	31	
		A	32,5	22,3	23,2	Ímpetus circular
		B	62,5	72,8	74,8	
		C	2,9	2,8	0,9	Força centrífuga
6	1a lei de Newton	D	1	1,4	1,1	Força centrífuga/ A conciliação das forças determina o movimento
		E	0,4	0,5	0	Força centrífuga
		Acerto	62,5	72,8	74,8	
		A	33,7	30,5	27,4	Ímpetus circular
		B	50,9	62,9	66,6	
		C	2,9	2,6	2,4	A conciliação das forças determina o movimento/ Força centrífuga
7	1a lei de Newton	D	6,8	1,6	1,5	Perda e recuperação do ímpetus original/ Ímpetus circular/ Força centrífuga
		E	4,1	2,1	1,8	Força centrífuga
		Acerto	50,9	62,9	66,6	
		A	24,4	12,7	11,5	A última força que atua determina o movimento
		B	37,1	56,3	52,7	
		C	5	2,6	4	Perda e recuperação do ímpetus original
8	Resultado da ação de uma força (2a Lei de Newton)	D	12	9,9	10,2	Acúmulo gradual ou atrasado do ímpetus
		E	20,7	18,3	21,5	Perda e recuperação do ímpetus original
		Acerto	37,1	56,3	52,7	
		A	0,8	1,4	2,2	
		B	19,5	14,3	10,4	A última força que atua determina o movimento
		C	29	16,7	16,6	Composição não vetorial da velocidade
9	Cinemática	D	5,8	4	3,5	
		E	42,9	63,6	66,8	
		Acerto	42,9	63,6	66,8	
10	1a lei de	A	34,8	49,5	54,4	

	Newton	B	3,7	4,9	2,7	Acúmulo gradual ou atrasado do ímpetus
		C	25,5	18,8	16,4	
		D	33,5	25,4	25,7	Acúmulo gradual ou atrasado do ímpetus
		E	1,7	1,2	0,4	
		Acerto	34,8	49,5	54,4	
11	Reconhecendo forças	A	6,8	10,3	10,2	Obstáculos não exercem força/ A pressão do ar contribui com a gravidade
		B	34	17,1	17,5	Necessidade de uma força para haver movimento/ Obstáculos não exercem força
		C	43,7	39,7	40,3	Necessidade de uma força para haver movimento
		D	12,8	31	30,3	
		E	1,4	1,6	1,1	A gravidade é intrínseca à massa
		Acerto	12,8	31	30,3	
12	Cinemática	A	0,4	0,9	0,4	A conciliação das forças determina o movimento
		B	60,5	77,7	72,1	
		C	29,8	19	24,6	Dissipação do ímpetus
		D	5,6	1,9	2,7	Dissipação do ímpetus/ A gravidade atua depois que o ímpetus é gasto
		E	3,1	0,5	0,2	
		Acerto	60,5	77,7	72,1	
13	Reconhecendo forças	A	18,2	15	13,1	Dissipação do ímpetus
		B	33,3	19,2	13,5	Dissipação do ímpetus/ A gravidade aumenta enquanto o objeto cai/ A gravidade atua depois que o ímpetus é gasto
		C	37,9	32,9	37,6	Dissipação do ímpetus
		D	9,9	32,2	35	
		E	0,4	0,2	0,9	A gravidade é intrínseca à massa
		Acerto	9,9	32,2	35	
14	Cinemática	A	30,2	18,1	22,1	Sistema de referência ego-centrado
		B	15,5	8	9,1	Sistema de referência ego-centrado
		C	9,9	4,7	6,4	A conciliação das forças determina o movimento
		D	43,3	68,8	61,9	
		E	0,4	0,2	0,4	Dissipação do ímpetus/ A gravidade atua depois que o ímpetus é gasto
		Acerto	43,3	68,8	61,9	
15	3a lei de Newton	A	43,3	47,2	48,7	
		B	8,5	6,6	6,4	Maior massa implica em maior força
		C	39,5	42,5	42,7	O agente mais ativo produz a maior força
		D	7,7	3,5	2	Somente agente ativo exerce força
		E	0	0	0,2	Obstáculos não exercem força
		Acerto	43,3	47,2	48,7	
16	3a lei de	A	41,6	56,6	66,8	

	Newton	B	1,9	1,4	1,1	Maior massa implica em maior força
		C	45,3	31,5	25,2	O agente mais ativo produz a maior força
		D	6,8	3,5	3,3	Somente agente ativo exerce força
		E	3,3	6,8	3,5	Obstáculos não exercem força
		Acerto	41,6	56,6	66,8	
		A	57,8	44,1	44,2	A maior massa determina o movimento
17	Resultado da ação de uma força (2a Lei de Newton)	B	11,8	27,5	27,9	
		C	1,2	0,7	1,1	
		D	26,5	26,1	25,2	A maior massa determina o movimento/ A pressão do ar contribui com a gravidade
		E	1,7	0,9	1,5	Somente agente ativo exerce força
		Acerto	11,8	27,5	27,9	
		A	2,5	2,8	2,7	Somente agente ativo exerce força/ Obstáculos não exercem força
18	Reconhecendo forças	B	9,7	29,6	33,2	
		C	14,7	8,7	8	Ímpetus circular
		D	37,1	41,1	40	Ímpetus circular
		E	32,1	15,3	15	Força centrífuga
		Acerto	9,7	29,6	33,2	
		A	16,8	14,6	10,6	Não discriminação entre velocidade e aceleração
		B	6,2	5,6	1,5	Não discriminação entre posição e velocidade
19	Cinemática	C	9,1	7,7	11,5	Não discriminação entre posição e velocidade
		D	28	22,5	17,7	Não discriminação entre posição e velocidade
		E	38,7	48,4	58,2	
		Acerto	38,7	48,4	58,2	
		A	10,8	8	3,3	
		B	4,3	3,1	2,4	Não discriminação entre velocidade e aceleração
20	Cinemática	C	42,9	37,3	34,1	Não discriminação entre velocidade e aceleração
		D	36,2	49,8	57,7	
		E	4,6	1,6	2,2	
		Acerto	36,2	49,8	57,7	
		A	6,8	8	8,4	Perda e recuperação do ímpetus original
		B	34,6	22,3	23,5	A última força que atua determina o movimento
21	Resultado da ação de uma força (2a Lei de Newton)	C	28	35	31,2	A conciliação das forças determina o movimento
		D	5,8	7,3	11,3	Acúmulo gradual ou atrasado do ímpetus
		E	22,4	26,3	25,2	
		Acerto	22,4	26,3	25,2	
22	Resultado da ação de uma	A	37,7	27,7	32,1	Velocidade proporcional à força aplicada
		B	23,8	39,4	42,7	

	força (2a Lei de Newton)	C	3,9	5,2	3,3	Desgaste da força ativa
		D	27,5	24,6	19	Força causa aceleração à velocidade terminal
		E	5	2,3	2,4	Desgaste da força ativa
		Acerto	23,8	39,4	42,7	
		A	25,9	25,4	20,8	Perda e recuperação do ímpetus original
		B	17,6	34,5	29,4	
		C	36	26,5	30,3	A última força que atua determina o movimento
23	1a lei de Newton	D	14,5	8,9	15	Perda e recuperação do ímpetus original/ Dissipação do ímpetus
		E	2,5	3,8	4	Acúmulo gradual ou atrasado do ímpetus
		Acerto	17,6	34,5	29,4	
		A	52,2	71,6	69,2	
		B	6,2	2,3	3,1	
		C	29,6	17,1	20,8	Dissipação do ímpetus
24	1a lei de Newton	D	2,7	1,6	2,9	
		E	5	6,1	2,7	Dissipação do ímpetus
		Acerto	52,2	71,6	69,2	
		A	6,4	1,9	2,2	Só existe movimento quando a força supera a resistência
		B	10,4	5,6	4,4	Só existe movimento quando a força supera a resistência
		C	13	30	28,3	
25	Resultado da ação de uma força (2a Lei de Newton)	D	40,4	41,5	52,4	Só existe movimento quando a força supera a resistência
		E	26,1	19,2	11,7	A maior massa determina o movimento
		Acerto	13	30	28,3	
		A	32,1	24,9	26,8	Velocidade proporcional à força aplicada
		B	28,8	27,5	27,4	Só existe movimento quando a força supera a resistência/ A resistência se opõe à força (ímpetus)
		C	3,5	3,5	4	Acúmulo gradual ou atrasado do ímpetus
26	Resultado da ação de uma força (2a Lei de Newton)	D	24,4	20,2	19	Força causa aceleração à velocidade terminal
		E	7,2	22,3	21,7	
		Acerto	7,2	22,3	21,7	
		A	21,7	20	18,8	Movimento implica em força ativa/ A massa faz “as coisas pararem”
		B	23,6	19,5	18,1	Dissipação do ímpetus/ A massa faz “as coisas pararem”
		C	45,8	54	57,1	
27	Resultado da ação de uma força (2a Lei de Newton)	D	2,9	3,3	3,1	Necessidade de uma força para haver movimento
		E	2,5	1,2	2,2	Acúmulo gradual ou atrasado do ímpetus
		Acerto	45,8	54	57,1	
		A	1,4	0,5	0,2	
28	3a lei de Newton	B	2,3	1,2	1,3	Somente agente ativo exerce força
		C	4,6	3,3	1,1	

		D	34	27,2	22,6	Maior massa implica em maior força/ O agente mais ativo produz a maior força
		E	56,3	66,7	74,6	
		Acerto	56,3	66,7	74,6	
		A	11,2	5,2	4	Obstáculos não exercem força
		B	51,6	65,5	68,8	Somente agente ativo exerce força
29	Reconhecendo forças	C	2,1	2,1	1,1	A pressão do ar contribui com a gravidade
		D	27,3	23	23,7	
		E	3,7	2,1	1,5	Se não há movimento, não há força
		Acerto	51,6	65,5	68,8	
		A	1,4	1,9	2,2	Somente agente ativo exerce força
		B	6,4	5,2	5,3	Necessidade de uma força para haver movimento
30	Reconhecendo forças	C	26,9	48,4	51,5	
		D	4,1	2,8	1,8	Necessidade de uma força para haver movimento
		E	60	41,1	39,2	Necessidade de uma força para haver movimento
		Acerto	26,9	48,4	51,5	

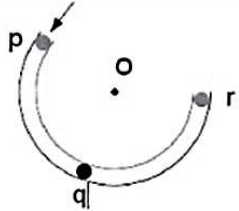
Fonte: Própria autora.

Legenda: A primeira coluna mostra as questões do teste de acordo com a numeração na versão padrão. A segunda indica o grupo a que pertencem. A terceira, as alternativas e o percentual de acerto para cada questão. A quarta, a quinta e a sexta exibem os percentuais correspondentes às alternativas e ao acerto de cada questão para a primeira, segunda e terceira série do Ensino Médio, respectivamente. A sétima, a concepção alternativa identificada.

A questão abaixo, assim como as outras deste grupo, demanda que o estudante identifique que forças atuam em um corpo em uma situação específica.

Figura 23 - Questão cinco do FCI na versão padrão

A figura mostra um tubo sem atrito na forma de um segmento de círculo com centro em "O". O tubo encontra-se preso a uma mesa horizontal sem atrito. O observador olha a mesa de cima. As forças exercidas pelo ar são insignificantes. Uma esfera é disparada a alta velocidade no tubo em "p" e sai em "r".



5) Considere as seguintes forças distintas:

1. Uma força para baixo devido à gravidade.
2. Uma força exercida pelo tubo que aponta de "q" para "O".
3. Uma força no sentido do movimento.
4. Uma força que aponta de "O" para "q".

Qual(ais) força(s) acima atua(m) na esfera quando esta se encontra no interior do tubo sem atrito na posição "q"?

- a) 1 somente.
- b) 1 e 2.
- c) 1 e 3.
- d) 1, 2 e 3.
- e) 1, 3 e 4.

Fonte: FERNANDES, 2011.


A solução da maioria dos problemas na de Física depende desse conhecimento. Contudo, de acordo com a tabela 5, apenas 9,7% dos alunos que ingressavam na primeira série souberam respondê-la. Considerando os dados da segunda série, nota-se que a instrução possibilitou uma melhora de 22,5% no acerto. No entanto, 67,6% continuaram errando a questão. O acerto percentual dos que iniciavam a terceira série nos mostra que os alunos retiveram o que haviam aprendido um ano antes. Além disso, vê-se que a alternativa mais marcada foi a C na primeira série e a D na segunda e terceira série. Conforme a tabela mostra, a grande maioria dos erros está relacionada com a crença de que a manutenção do movimento da bola requer uma força/influência/ímpeto/, que a impulse no sentido do seu deslocamento. De forma complementar, costumam argumentar que não há uma força centrípeta, pois essa faria a bola se mover em direção ao centro. Ao cursar a primeira série, muitos alunos aprenderam que não existe a força no sentido do movimento, enquanto outros mantiveram essa posição, mas corretamente absorveram a existência de uma força normal, exercida pelo tubo, e dirigida para o centro da trajetória. A escolha da alternativa E, envolve as concepções já discutidas e também a de que atuaria uma força centrífuga nos corpos em movimento circular. Acredita-se que essa crença tem origem nas anteriores, aliadas às experiências sensoriais, como a de girar uma pedra presa a um barbante. Ao fazer isso, a pessoa sente que precisa puxar a pedra por meio do barbante e concluirá que a pedra não vem

ao seu encontro porque age sobre ela uma força centrífuga, de modo que a força resultante seja nula. Pode ser possível, também, a explicação semelhante e menos elaborada que se segue. O estudante sente claramente a pedra girante puxar a sua mão através do barbante. Em analogia com a situação em que esse objeto está em repouso, o experimentador é tentado a concluir que “algo puxa a pedra” para longe de si. Os que marcaram a alternativa A acreditam que o tubo não exerce força, mas apenas “impede a passagem da bola” através dele.

A resolução correta da questão que se segue requer especialmente o conhecimento da terceira lei de Newton.

Figura 24 - Questão 15 do FCI na versão padrão

Um caminhão sofre um defeito na estrada e é empurrado por trás por um carro de passeio como mostrado na figura abaixo.



15) Enquanto o carro, ainda empurrando o caminhão, está acelerando para atingir a velocidade desejada:

- A força com que o carro empurra o caminhão é igual à força que o caminhão exerce para trás no carro.
- A força com que o carro empurra o caminhão é menor do que a força que o caminhão exerce para trás no carro.
- A força com que o carro empurra o caminhão é maior do que a força que o caminhão exerce para trás no carro.
- O motor do carro está funcionando e por isso o carro exerce uma força no caminhão, mas o motor do caminhão não funciona e, assim, o caminhão não pode empurrar o carro para trás. O caminhão é empurrado para frente simplesmente porque está no caminho do carro.
- Nem o carro nem o caminhão exercem força um no outro. O caminhão é empurrado para frente simplesmente porque está no caminho do carro.

Fonte: FERNANDES, 2011.


De acordo com a tabela 5, vemos que a instrução praticamente não alterou o acerto percentual registrado no início e que a alternativa C foi mais marcada. Conforme diagnosticado, os alunos que a escolheram provavelmente pensaram que, o carro, por estar com o motor ligado, seria o mais ativo, ou seja, o que aplicaria a maior força. Aqueles que escolheram a opção B possivelmente consideraram a massa do caminhão maior que a do carro e assim concluíram que a maior força seria exercida por ele. Os que marcaram a D devem ter raciocinado que, como o motor do carro estava funcionando e o do caminhão não, o carro

seria o único agente ativo. Portanto a única força que poderia existir seria a que ele exerceria no caminhão. Os que escolheram a E provavelmente acreditavam que objetos inanimados seriam meramente obstáculos que impediriam ou dificultariam o movimento de um corpo através deles sem, entretanto, exercer forças sobre eles. Portanto, nem o carro e nem o caminhão exerceriam força um no outro. O que estaria acontecendo é que o carro “quer” se mover ao longo da estrada, mas o caminhão que está no seu caminho, dificultaria esse movimento. É por isso que ele é empurrado para frente pelo carro.

A resolução correta da questão seguinte depende, sobretudo, do conhecimento da segunda lei de Newton.

Figura 25 - Questão 21 do FCI na versão padrão

Um disco voador desloca-se lateralmente no espaço exterior do ponto “a” para o ponto “b” como mostrado abaixo. O disco voador não está sujeito a nenhuma força exterior. Chegando na posição “b”, o motor do disco voador é ligado e produz nele uma força constante em um ângulo perpendicular à linha “ab”. Essa força constante é mantida até que o disco voador alcance o ponto “c” no espaço.



21) Qual das trajetórias abaixo melhor representa a trajetória do disco voador entre os pontos “b” e “c”?

(A) (B) (C) (D) (E)

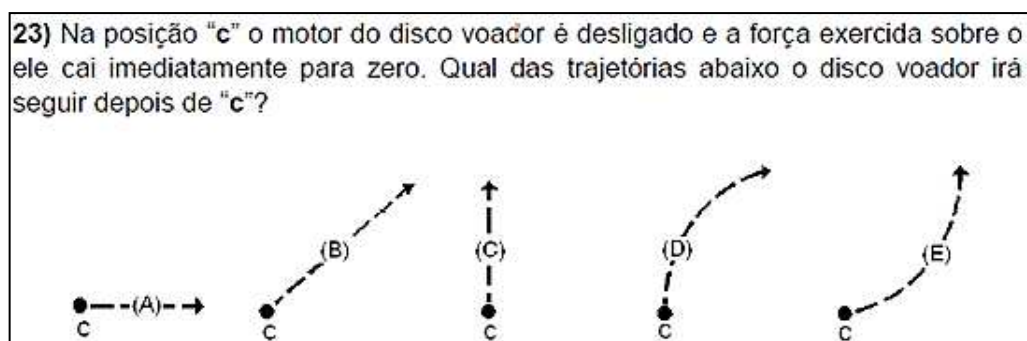
Fonte: FERNANDES, 2011.

Conforme mostra a tabela 5, no início o percentual de acerto foi de 22,4% — um valor muito próximo dos 20% que seriam esperados caso os alunos escolhessem aleatoriamente uma das alternativas — e a instrução praticamente não modificou esse resultado. Nota-se também que, com exceção da alternativa correta, as mais marcadas foram a B e a C. De acordo com o que foi diagnosticado aqueles que escolheram a B possivelmente pensaram que, como a força constante perpendicular à linha ab foi a última que atuou no

disco, então, a partir do ponto b ele seguiria em uma trajetória vertical. O caminho ilustrado na alternativa C nos mostra que aqueles que o escolheram perceberam que o movimento horizontal do disco seria mantido depois de b. Pode-se notar também que eles não sabiam que a força constante exercida no disco após o motor ser ligado faria com que seu movimento vertical fosse acelerado, inicialmente com uma velocidade nula. Para eles, a força vertical constante imprimiria nele uma velocidade vertical constante. De acordo com a tabela 5, vemos que essa alternativa está associada à ideia de que é a conciliação das forças que determina o movimento de um corpo. Assim sendo, os estudantes provavelmente acreditavam que existiria uma força interna (ímpeto) no disco que seria responsável por seu movimento horizontal e que, a partir do ponto b, se somaria à força vertical constante. Portanto, a partir daí ele moveria para cima e para a direita simultaneamente. Aqueles que escolheram a alternativa A acreditavam que o disco seria impulsionado na direção vertical quando seu motor fosse ligado. No entanto, esse impulso se perderia gradualmente de modo que o horizontal voltava a dominar. Observando o percurso ilustrado na alternativa D pode-se notar que aqueles que a avaliaram como correta sabiam que o movimento horizontal do disco se manteria a partir de b e que a força constante na direção vertical faria com que seu movimento nessa direção fosse acelerado, a princípio com uma velocidade nula. Para eles, no entanto, a tabela 5 mostra que o efeito que essa força produziria no movimento apareceria gradativamente após algum tempo. Portanto, a trajetória seguida entre os pontos b e c seria, a princípio, horizontal e depois parabólica.

A resolução correta da questão abaixo requer, principalmente, o conhecimento da primeira lei de Newton.

Figura 26 – Questão 23 do FCI na versão padrão



Fonte: FERNANDES, 2011.

De acordo com a tabela 5, vê-se que apenas 17,6% dos que ingressavam na primeira

série conseguiram acertá-la. Considerando os dados daqueles que iniciavam a segunda série, nota-se que a instrução proporcionou uma melhora de 16,9% nesse percentual. Porém, 64,6% da turma continuavam errando a questão. Comparando os dados dos que começava a terceira série com aqueles obtidos um ano antes, foi constatada uma diminuição de 5,1% no acerto. Isso sugere um reaparecimento das concepções do aluno. Nota-se, também, que as mais marcadas são a C e a A. De acordo com o que fora diagnosticado, os que marcaram a C provavelmente pensaram que como a força constante perpendicular à linha ab foi a última que atuou no disco, então, ele seguiria numa trajetória vertical para cima, mesmo após o desligamento do motor. Aqueles que escolheram a alternativa A provavelmente raciocinaram que quando o motor fosse desligado, a força vertical desapareceria e restaria apenas a força (ímpeto) na direção horizontal. Logo, a partir do ponto c, o disco seguiria numa trajetória horizontal paralela à linha ab.

Como se percebe, para esses estudantes, o disco não conservará a velocidade vertical que possuía imediatamente antes do motor ser desligado. É importante enfatizar aqui que os alunos que optaram pelas alternativas A e C têm dificuldades de lidar com movimentos simultâneos e independentes. Aqueles que marcaram a D devem ter imaginado que o disco teria adquirido um ímpeto enquanto o motor estava ligado que continuaria a movimentá-lo verticalmente para cima após o desligamento. Além disso, o ímpeto que o movia na direção horizontal seria perdido no ponto c e recuperado gradativamente a partir dele. Assim sendo, a única trajetória que corresponderia a um movimento sobre ação desses dois impulsos seria aquela representada pela opção D. Os que consideraram como correta a alternativa E possivelmente pensaram que, a partir do ponto c, o impulso adquirido durante o tempo em que o motor estava ligado apareceria gradualmente enquanto o ímpeto horizontal seria continuamente enfraquecido. Para que a questão seguinte seja resolvida corretamente, o aluno precisará saber distinguir velocidade e aceleração.

Figura 27 – Questão 20 do FCI na versão padrão

19) Na figura abaixo estão representadas as posições de dois blocos em intervalos sucessivos de 0,20 segundos. Os blocos estão se movendo para a direita.

As acelerações dos blocos estão relacionadas da seguinte forma:

- A aceleração de "a" é maior do que a aceleração de "b".
- A aceleração de "a" é igual à aceleração de "b". Ambas são maiores do que zero.
- A aceleração de "b" é maior do que a aceleração de "a".
- A aceleração de "a" é igual à aceleração de "b". Ambas são zero.
- Não há informação suficiente para responder à pergunta.

Fonte: FERNANDES, 2011.

De acordo com a tabela 5 percebe-se que, com exceção da alternativa correta, a mais marcada foi a C. Conforme diagnosticado, ela revela que os conceitos de velocidade e aceleração não foram diferenciados pelos estudantes. Assim sendo, eles provavelmente teriam observado que o bloco "b" percorre uma distância maior que o bloco "a" no mesmo intervalo de tempo e assim teriam concluído que a aceleração de "b" é maior que a aceleração de "a", no entanto, a conclusão correta deveria ser que a velocidade "b" era maior que a velocidade de "a". Cabe salientar aqui que não há um diagnóstico para as alternativas A e E.

5.2 SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS — uso, estrutura e objetivos instrucionais

A partir de estudos presentes na literatura científica (Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992), do trabalho didático do orientador desta dissertação (descrito na subseção 5.1.1) e da análise das respostas dos alunos do CAP-COLUNI ao FCI (sintetizada na subseção 5.1.2), verificou-se que alguns estudantes modernos acreditam que é necessário haver uma força para ter movimento. Muitos acreditam que essa força seria exercida por um agente vivo (por contato direto ou indireto) ou recorrem à ideia de que, ao mover um corpo, o agente transfere um "combustível" que sustenta o movimento após o término do contato. Constatou-se, também, que, em geral, os discentes acreditam que a velocidade com que o corpo se move é proporcional a essa força. Além disso, verificou-se que os conceitos de posição e velocidade

bem como os de velocidade e aceleração, geralmente, não são distinguidos. Diante disso, as sequências didáticas desenvolvidas nesta pesquisa visam:

- Auxiliar na compreensão do efeito da força resultante no movimento de um corpo;
- Demonstrar que a força resultante determina aceleração, não velocidade de um corpo;
- Demonstrar quantitativamente a 2ª lei de Newton;
- Demonstrar que um corpo pode se mover, ainda que a força resultante sobre ele seja nula;
- Praticar diferentes representações do movimento (gráfica, verbal, escrita e matemática);
- Auxiliar na diferenciação e na compreensão do significado das grandezas cinemáticas;
- Praticar e promover o método científico.

As três sequências didáticas foram elaboradas tendo em mente turmas da primeira série do Ensino Médio. Contudo, parece crível que elas possam igualmente trazer benefício para estudantes de disciplinas introdutórias de mecânica no Ensino Superior. Elas foram elaboradas para serem “revisitas” breve a conceitos fundamentais de mecânica, identificados como desafiadores para a maioria dos estudantes. Em outras palavras, elas devem ser aplicadas depois que o estudante já estudou o conteúdo relacionado. Assim, as três sequências podem ser utilizadas depois, idealmente poucas semanas depois, que a turma cobriu o conteúdo de cinemáticas e leis de Newton. A sequência sobre a segunda lei de Newton tem que preceder aquela sobre a primeira lei. Com efeito, a intervenção relacionada com a primeira lei utiliza resultados e informações advindas do trabalho com a segunda lei. Por outro lado, a intervenção sobre cinemática independe das outras.

A sequência didática sobre a segunda lei de Newton é a mais longa. Na forma apresentada na próxima seção, ela requer uma aula com duração de 100-120 minutos, idealmente com um intervalo no meio. A intervenção acerca da primeira lei requer cerca de 50-60 minutos e de cinemática 35-40 minutos. Em todos os casos, o tempo necessário pode, em certa medida, ser compatibilizado com um tempo de aula menor, eliminando-se algumas questões preparatórias e controlando o tempo das discussões em grupo. Contudo, essas discussões entre os discentes sobre as questões centrais devem ser preservadas. Como se verá em seguida, elas são de grande importância pedagógica.

As próximas seções tratam separadamente de cada sequência didática. Nas duas sobre as leis de Newton, apresentamos primeiramente um passo-a-passo das suas aplicações (vide condições na seção), explicamos a lógica e propósito das etapas e descrevemos as

observações realizadas na sala de aula. A intervenção sobre cinemática não foi inteiramente desenvolvida. Por essa razão, nos limitamos a esboçar as discussões propostas para os estudantes e, sem detalhamento, as suas reações e respostas.

5.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A SEGUNDA LEI DE NEWTON

A intervenção didática da qual trata esta seção foi realizada com uma turma de estudante da 1ª série do Ensino Médio na escola estadual e nas condições descritas na subseção 4.2.2.

5.3.1 A Sequência Didática Sobre a Segunda Lei de Newton e Sua Aplicação

Cena 1 - Recepção (Intervenção 2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Enquanto o professor recebe os estudantes que chegam à sala de aula, ele mantém projetada uma imagem vibrante (exemplo na figura 28 abaixo), que remete ao tema da sequência didática que será realizada.

Figura 28 – Slide de abertura da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

Explicação:

O objetivo aqui é criar um clima de expectativa e curiosidade, que favoreça o engajamento dos discentes nas atividades que se seguirão. Apesar da autora não ter lançado mão do expediente, há indicativos e que uma música leve, tocada no ambiente, auxilia nesse propósito.

Observações:

Pareceu claro, nas feições dos alunos e no exame que faziam do ambiente à medida que entravam na sala de aula, que o objetivo fora alcançado.

Cena 2 – Explicação da atividade e promoção de foco (2ª lei de Newton)**Roteiro:**

- Com os discentes acomodados em seus lugares, o professor explica rapidamente que eles farão uma atividade diferente, sobre a relação entre força e movimento, na qual eles terão oportunidade de discutir entre si as suas ideias e de examiná-las criticamente, da maneira como fazem os cientistas.
- É muito importante que o professor destaque que, ao longo do trabalho, eles irão preencher folhas de atividades, que deverão entregar ao final da aula. O docente deve também informar (ou lembrar o estudante) se, e como, as atividades serão avaliadas. Idealmente elas não devem valer nota ou a nota deve ser dada por participação, não por correção (acerto).
- Em seguida, o instrutor distribui as folhas de atividades e solicita que sejam preenchidos os campos relativos ao nome e número de matrícula. Uma versão desse material encontra-se no apêndice B.

Explicação:

Em primeiro lugar, o objetivo aqui é dar ao estudante uma ideia de conjunto daquilo que ele fará na aula e informar qual é o seu tema: mecânica, em particular a relação entre força e movimento. A referência às folhas de atividades é de grande importância. Ela visa criar, desde o início, a expectativa de que o discente participará de forma ativa, de que ele não será um ouvinte passivo, em contraste com aquilo que ocorre na aula tradicional habitual. O fato de que a expectativa de atividade é um instrumento poderoso para criar foco e engajamento (Woelk, 2008) é discutido na subseção 3.5.3. A explicação de que a aula em questão e a folha de atividades associada não valem nota, ou que a nota será atribuída não pela correção das respostas do aluno, mas pela sua participação, visa criar um ambiente favorável à participação de todos e a discussões produtivas (James, 2006, 2011), conforme explicado na subseção 3.5.6.

Observações:

Muitos estudantes começaram a examinar as folhas de atividades e prontamente colocaram nelas os seus dados (nome e número de matrícula).

Cena 3 – Focando e acordando concepções sobre movimento (2ª lei de Newton)**Roteiro:**

- Em seguida, o professor projeta o primeiro dos slides da figura que segue e, reforçando as perguntas ali presentes, indaga retoricamente o que o estudante entende por força e como acredita que ela afeta o movimento de um corpo.
- Após um curto intervalo (cerca de meio minuto) para que o aluno reflita, projeta-se o slide seguinte (parte b da figura 29 abaixo). Ela contém uma pergunta mais concreta – *“Uma força maior atuando sobre um corpo faz com que ele atinja uma velocidade maior?”* Assim que a maioria termina a leitura, o professor lê a questão em voz alta e solicita os estudantes reflitam sobre ela individualmente e registrem as suas respostas na folha de atividades. Ele enfatiza que as respostas devem ser justificadas.
- Depois que os estudantes concluem os seus registros, alguns voluntários e “convidados” compartilham oralmente com a turma as suas ideias.
- Na sequência, solicita-se que os estudantes discutam as suas respostas por alguns minutos, em grupos de três ou quatro membros.
- Findo esse tempo, o professor orienta que cada aluno registre novamente a sua resposta, explicando que ela não precisa concordar com aquelas dos colegas, mas que possivelmente a sua resposta pode conter aprimoramentos trazidos pelo debate.

Figura 29 - Slide 2 e 3 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

a) Força e movimento

O que é uma força?
Como ela afeta o movimento de um corpo?



b) Relação entre força e movimento



1) Uma força maior atuando sobre um corpo o leva a uma velocidade maior? **Justifique.**

Fonte: Própria autora.

Explicação:

Em termos amplos, busca-se aqui conduzir o estudante à reflexão e a discussão com os seus pares – pilares desta sequência. Como a maioria dos discentes não está habituada a aulas ativas, é fundamental começar a fazê-lo, antes da apresentação das questões centrais nas próximas cenas.

Não se esperam propriamente respostas para as perguntas no primeiro slide (figura 29 parte a). Elas são propositadamente vagas. O seu propósito não justificaria o uso do tempo longo, necessário para maiores esclarecimentos e respostas elaboradas. Além de dar o tom de atividade e reflexão, essas questões buscam, mais especificamente, trazer à tona o assunto força e movimento e auxiliar para que o grupo recém-chegado gradualmente volte a sua atenção para a atividade didática programada e para a interação com os colegas. Como é sabido, os discentes precisam de alguns minutos para colocar a aula em foco (Ruhl; Hughes; Schloss, 1987). Por fim, cabe explicar que a imagem dinâmica do slide, contendo uma pessoa em ação, foi selecionada com a intenção de levar os discentes a se imaginarem na posição dela ao longo da sequência didática.

A pergunta no segundo slide da figura anterior é também bastante vaga. De fato, ela só pode ser objetivamente respondida com vários condicionantes, como os que se seguem. As forças (maior e menor) atuam por um mesmo intervalo de tempo? Há outras forças que agem no corpo em questão? As forças se opõem ao movimento? Não obstante a essa imprecisão, é razoável esperar que a pergunta estimule os estudantes a recordar as suas concepções sobre o movimento, especificamente aquelas que concernem à relação entre as forças que atuam sobre

um corpo e a sua velocidade. Acreditamos que “reativar” essas ideias seja fundamental para que elas possam, na sequência da atividade, ser discutidas, desafiadas e comparadas com resultados experimentais e com as previsões da mecânica newtoniana. Note-se que o procedimento delineado no roteiro envolve reflexão individual, resposta, compartilhamento com a turma (por parte de voluntários e convidados), discussão em grupo, seguida de uma segunda resposta individual. Esse processo está apoiado na literatura científica, como discutiu-se na subseção 3.4.1.

Observações:

Boa parte dos discentes comunicou-se com os colegas ao lado e alguns enunciaram em voz alta os seus pensamentos. Como se discutirá em detalhe mais adiante (subseção 5.3.2), a maioria dos estudantes afirmou que uma força maior levaria a uma velocidade maior, sem, contudo, apresentar condicionantes ou propriamente justificativas para essa resposta, como exemplificado no trecho: *“A força é o que influencia a velocidade, assim, quanto maior a força, maior a velocidade.”*

Cena 4 – Como o bloco se move - concretude da questão (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor projeta a imagem que se segue e aguarda para que os alunos a examinem. Ele, então, informa que a cena ali retratada diz respeito ao problema que irão considerar em seguida. Antes de prosseguir, ele conta que não havia encontrado na web uma imagem adequada, de forma que contratou um “artista” para criá-la por encomenda: *“o DALL-E, um primo do ChatGPT, capaz de produzir imagens a partir de textos descritivos, fornecidos pelo usuário”*. É interessante, apontar que o “artista” se concedeu a liberdade poética para representar uma pessoa com apenas quatro dedos. Nota: no momento que se elabora esta dissertação, a capacidade de geração de imagens a partir de textos encontra-se incorporada à versão gratuita corrente do ChatGPT (GPT-4o), disponível no sítio da OpenAI.

Figura 30 - Slide 4 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

• Com o slide que se a segue, o professor apresenta a situação-problema da sequência didática. Projetando a imagem (versão reduzida da anterior), ele diz que quer discutir a situação concreta retratada ali. Em seguida, ele projeta e lê o texto situado acima da imagem (“*Você empurra com força constante ...*”) e faz o mesmo com a indagação abaixo dela (“*Como você acha que o bloco se move enquanto você o empurra ...*”). Ele ressalta que a pergunta se refere ao movimento do bloco no gelo, enquanto ele está em contato com a sua mão, que o empurra com força constante. Depois de uma breve pausa, ele enfatiza veementemente que está perguntando sobre o mundo real, sobre o que de fato veríamos, não sobre alguma situação idealizada ou “teórica”.

Figura 31 - Slide 5 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

Você empurra com força constante um bloco de aço muito liso, sobre uma superfície de gelo lisa e plana.

 This slide features the same image of the person pushing the block on ice. A red, tilted stamp with the text "MUNDO REAL!" is placed over the person's hand and the block. Below the image, a white box with a green border contains the question: "2) Como você acha que o bloco se move enquanto você o empurra com força constante?".

Fonte: Própria autora.

Explicação:

A apresentação deste slide serve para introduzir o problema principal a ser discutido nas questões seguintes, envolvendo o deslizamento de um bloco de aço sobre uma superfície de gelo lisa e plana. A pergunta é certamente ampla – ela pode ser respondida em termos da trajetória do corpo, da sua velocidade, aceleração, etc. O que se quer aqui é que o grupo de estudantes perceba que há múltiplos aspectos no fenômeno movimento.

A apresentação gráfica da situação, sob a forma de uma imagem, busca chamar a atenção do aluno, reforçar o caráter realístico das questões e, mais objetivamente, aliviar a carga cognitiva dele. Como discutiu-se anteriormente (subseção 3.5.2), a superlotação da memória de trabalho constitui um obstáculo a um pensamento bem-sucedido. No caso presente, há uma série de informações que o estudante precisa ter em mente simultaneamente. Ele precisa lembrar a que a superfície de gelo é lisa, de modo que a força de atrito é muito pequena e como, como ela é plana e horizontal, o peso do bloco não terá efeito sobre o seu movimento. Ademais, não se pode esquecer que a pergunta é sobre o movimento que ocorre sob a ação de uma força horizontal constante, no sentido no qual o bloco é empurrado. A imagem apresentada resume essas informações e permite que elas sejam facilmente recuperadas. Note-se que algumas delas sequer são explicitadas no texto do slide (a superfície é horizontal e o empurrão é no sentido em que o corpo se move), porém são prontamente obtidas em um relance.

Por fim, a menção à criação da imagem com um agente de inteligência artificial generativa buscou não só atrair interesse para a aula, mas também informar e motivar os jovens presentes acerca dos desenvolvimentos impactantes que se sucedem atualmente no campo da IA.

Observações:

Muitos olhares surpresos sugerem que a cena exótica e vibrante, por si, criou curiosidade e expectativa. A menção ao agente de inteligência artificial generativa parece ter intensificado esses sentimentos. Como esperado, diferentes aspectos do movimento foram abordados nas respostas. Um indício disso foi o questionamento de uma estudante, que perguntou se deveria responder especificamente sobre a velocidade — momento em que se percebeu que a questão cumpria o propósito de estimular a reflexão sobre distintos aspectos do movimento. Alguns estudantes mencionaram, por exemplo, a variação (e a constância) da

velocidade do bloco, a sua trajetória retilínea e a “facilidade” com a qual ocorreria o movimento. Mais adiante apresentaremos e discutiremos essas respostas em profundidade e veremos o efeito positivo das discussões entre os alunos.


Cena 5 – Como varia a velocidade do bloco? (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Apresentando o slide abaixo, o professor reforça as condições relacionadas com a situação-problema e enuncia a sua nova questão sobre ela: “*Como a velocidade desse corpo varia enquanto você o empurra ...*”.
- Em seguida, é realizado o processo-padrão de resposta e discussão já apresentado: reflexão individual, registro da resposta, alguns alunos apresentam oralmente a sua resposta para a classe, discute-se em pequenos grupos e novamente registra-se as respostas na folha de atividades.

Figura 32 - Slide 6 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

Você empurra com força constante um bloco de aço muito liso, sobre uma superfície de gelo lisa e plana.



3) Como a velocidade desse corpo varia enquanto você o empurra (com força constante)?

Fonte: Própria autora.

Explicação:

A questão trata da mesma situação discutida antes, porém agora a pergunta é especificamente sobre como variaria a velocidade do bloco sob a ação de uma força constante. O propósito é levar os estudantes a revisitarem e discutirem entre si as suas ideias sobre como uma força afeta o movimento de um corpo. Em suma, cria-se aqui uma oportunidade para que os discentes utilizem a recém estudada segunda lei de Newton ou

apresentem as suas concepções alternativas. Como se discutiu no capítulo 3, essas ideias encontram-se fortemente enraizadas na estrutura cognitiva estudante. Entre elas destaca-se aquela segundo a qual a velocidade de um corpo é determinada pela força resultante que atua sobre ele.

Observações:

A essa altura da sequência didática, percebeu-se claramente que a maioria dos discentes participava com afinco da atividade proposta e com entusiasmo crescente, a ponto de as vozes se intensificarem durante as discussões e de muitos permanecerem debatendo mesmo quando se tentava avançar para a questão seguinte. Contudo, era frequente que eles partissem diretamente para a discussão em grupo, ignorando a recomendação de antes responderem individualmente à questão colocada.

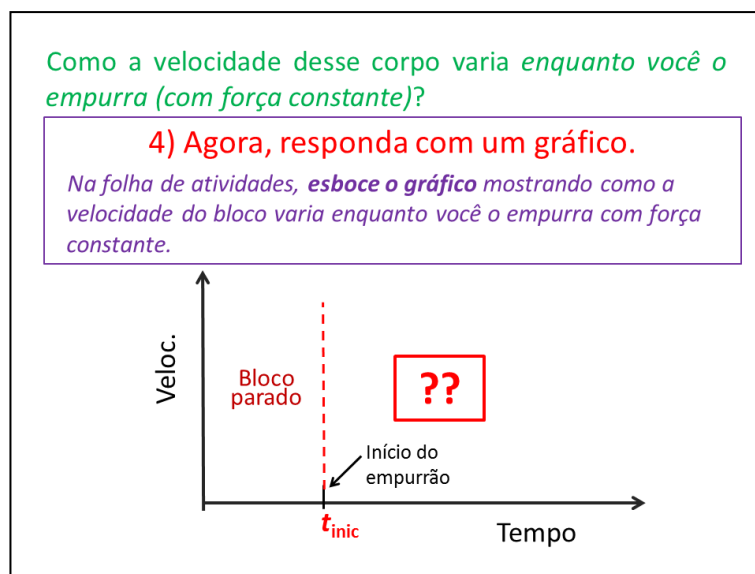
Como antecipado, a maior parte das respostas explicitava confiantemente a ideia de que uma força constante imprime ao corpo uma velocidade constante, que é tanto maior, quanto maior for essa força. Poucas respostas apontavam para uma velocidade crescente e nenhuma recorria à segunda lei de Newton como suporte.

Cena 6 – Como varia a velocidade do bloco? – gráfico $v \times t$ (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Com o auxílio do slide seguinte, o professor explica que novamente deseja saber como varia a velocidade do bloco enquanto ele é empurrado, porém destaca que agora quer uma resposta gráfica.
- Na sequência, o professor pormenoriza a sua demanda. Ele mostra o gráfico no slide e informa que esse é uma cópia daquele que os alunos têm nas suas folhas de atividades. O professor explica que o “*tempo*” (eixo horizontal) seria aquele medido por um cronômetro. Ele diz que quer que cada aluno registre como acha que a velocidade do bloco varia, considerando que o objeto estava inicialmente parado (região esquerda do gráfico) e que começou a ser empurrado no instante “ t_{inic} ”, destacado na figura. Sintetizado, ele solicita que a turma registre como se espera que a velocidade se comporte para tempos posteriores a t_{inic} .
- Seguem-se as respostas individuais, a discussão em pequenos grupos e as respostas finais.

Figura 33 - Slide 7 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

Explicação:

O objetivo principal aqui é fazer com que o aluno aplique as suas concepções sobre o movimento para apresentar uma previsão, em uma forma (gráfica) tal que possa ser diretamente comparada com os resultados experimentais que serão trabalhados nas próximas cenas. Além disso, espera-se que esta atividade leve os estudantes a praticarem a representação de um movimento – eles deverão “traduzir” a sua resposta verbal, dada questão anterior, para a linguagem gráfica solicitada aqui.

Observações:

Houve debate acalorado (nos níveis de grupos e na turma), vários estudantes apresentaram e debateram espontaneamente as respostas apresentadas. Como veremos adiante, as respostas repetiram a concepção de que a força determina a velocidade do corpo, coerentemente com aquilo que é revelado pelo FCI (seção 3.1). As respostas gráficas trouxeram detalhes relevantes sobre tal ideia. Em particular, constatou-se o predomínio da previsão de que a velocidade do bloco aumenta continuamente de zero, até atingir um valor terminal constante.

Cena 7 – O método científico - uma exposição interativa (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Projetando o slide abaixo, o professor lê a pergunta inicial e recapitula o fato que havi-

am sido compartilhadas previsões contrastantes sobre como o bloco se moveria sobre o gelo sob as condições especificadas e destaca a materialidade da questão, perguntando retoricamente – *“As previsões que vocês fizeram são diferentes. É claro que no máximo uma delas pode estar certa. Como, de fato, veríamos o bloco se mover no mundo real? Como a sua velocidade varia ao longo do movimento? Não há como as diferentes respostas que vocês apresentaram estarem todas corretas.”*

- Fazendo uma breve pausa para reflexão, sem, porém, solicitar respostas às indagações anteriores, o instrutor projeta e enuncia novas perguntas: *“Você tem certeza da sua resposta? Como você sabe que ele se move assim?”* Ele incentiva e aguarda o compartilhamento de voluntários e tenta esclarecer se eles de fato já presenciaram exatamente a situação em análise.
- Seguindo com o slide, o professor sintetiza que até o momento eles vinham tentando estabelecer como o bloco se move por meio de opiniões, memórias de situações parecidas ou de crenças das pessoas na sala. Ele propõe que agora examinem as questões de uma maneira diferente – *“perguntando à própria natureza”*. Ele afirma que essa é a essência do método científico.

Figura 34 - Slide 8 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

Como o bloco realmente se move (mundo real)?

??

Como você sabe que ele se move assim?
Tem certeza da sua resposta?

MUDANDO A ABORDAGEM...
Vamos perguntar para a própria natureza!!

Método científico

Fonte: Própria autora.

- O instrutor informa que quer discutir concretamente o que é o método científico e agilmente apresenta a primeira pergunta no slide na figura 35: *“As mulheres têm menos dentes do que os homens? O que você acha?”*. Depois de ouvir algumas respostas, ele

informa que Aristóteles acreditava que sim, mas, sabemos hoje, que a grande maioria das mulheres e homens adultos e saudáveis têm trinta e dois dentes.

- Segue, então, a crítica de Bertrand Russell (Russell, 2016), segundo a qual não teria ocorrido ao filósofo grego fazer observações para tentar comprovar a sua assertiva. O professor comenta, baseando-se na passagem abaixo (Benton, 1952) que a crítica parece injusta, pois os escritos de Aristóteles sugerem que ele estaria amparando a sua posição em observações, dele, ou de outras pessoas:

“Machos têm mais dentes que as fêmeas no caso de humano, ovinos, caprinos e suínos; no caso de outros animais, ainda não foram feitas observações”.

- Assim, o professor questiona que, se Aristóteles, baseou-se em observações, como ele pôde chegar à conclusão errada: “*O que houve de errado?*”.
- Endereçando a pergunta anterior, o professor afirma que não sabemos o que de fato aconteceu, mas que é fácil imaginar várias explicações plausíveis. É bem possível que Aristóteles possa ter contado errado os dentes, seus e da sua esposa, já que a higiene bucal na época (século IV a.C.) era bastante precária. De fato, fazer a contagem de uma linha de dentes coberta por tártaro não parece uma tarefa fácil. Aristóteles poderia também ter contado o número de dentes das mulheres de uma família portadora da agenesia (variação genética relacionada com um número menor de dentes) e dos homens de outra família sem ela.
- O professor segue observando que podemos fazer muitas outras suposições razoáveis, contudo, não há dúvida de que Aristóteles não utilizou aquilo que conhecemos hoje como o método científico. De fato, a sua ascendência começou muito mais tarde, por volta dos séculos XVI e XVII, ou seja, cerca de 2 mil anos depois dos trabalhos de Aristóteles.

Figura 35 - Slide 9 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

O método científico

Pergunta:

As mulheres têm menos dentes do que os homens?

O que você acha?

✗

Aristóteles: SIM*

Bertrand Russell:**

“Apesar dele ter casado duas vezes, nunca ocorreu a ele verificar essa assertiva examinando a boca das suas esposas.”

Crítica a crítica: *fizeram-se observações* (“verificações”)

O quê houve de errado?

*Aristotle II -Great Books of the Western World. [Chicago]: W. Benton, 1952
**The Impact of Science on Society. [Routledge]: B. Russell, 2016

Fonte: própria autora.

- Feitas essas observações, o instrutor pergunta: “*Mas o que é realmente o método científico?*” Ele começa a responder projetando o slide na figura 36 e explicando a definição ali presente: “*É um método que serve para separar as ideias corretas das incorretas. Este método consiste em testar as ideias para ver quais funcionam*”.
- Prosseguindo com o slide, ele enfatiza que o teste da ideia deve ser exaustivo e criterioso. Acrescenta que, no caso do número de dentes, a contagem deveria, por exemplo, ser realizada por pessoas treinadas da mesma forma, em um grande número de homens e mulheres, de diferentes localidades, submetidos antes a um procedimento de limpeza dental.
- Passando para a parte inferior do slide 10, o instrutor menciona que há outras “ferramentas” para explorar o mundo, além do método científico. Um exemplo é “o método lógico-dedutivo” da matemática. O professor destaca que ele é diferente e também muito poderoso. Nele, não se busca provar que uma ideia é correta por meio de testes. Na geometria, por exemplo, não são desenhados vários triângulos e medidos os seus lados para testar se, em todos eles, um lado qualquer é menor que a soma dos outros dois. O professor lembra que na geometria essa propriedade interessante é provada (demonstrada), para todo e qualquer triângulo, por meio de uma “dedução lógica”, em outras palavras, partindo de certos fatos “razoáveis” que combinamos aceitar sem provas – os denominados “postulados de Euclides”.

- Na sequência do slide, voltando ao método científico, o professor menciona que ele nem sempre existiu, que é uma criação cultural recente em termos históricos, cuja adoção ocorre progressivamente. De fato, pontua o professor, apesar do seu inequívoco sucesso, o método científico não é ainda hoje unanimemente aceito, como exemplificam o negacionismo climático, os movimentos antivacina e diversos procedimentos terapêuticos utilizados no enfrentamento da recente pandemia do covid-19.

Figura 36 - Slide 10 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

O método científico

Método para distinguir ideias corretas e incorretas, que consiste em **testá-las** para verificar quais funcionam.

Ideia é colocada a prova: **teste exaustivo e criterioso**

Método diferente: *"método lógico-dedutivo"*.

- O método científico nem sempre existiu.
 - É uma criação cultural recente.
 - Não é universalmente aceito.

Fonte: Própria autora.

- Com o slide 11 (figura 37), o professor ilustra a ascensão gradual do método científico, mencionando o longo percurso de dois milênios que separa Aristóteles de Galileu Galilei, convencionalmente tido como o pai da ciência moderna, passando pelas notáveis figuras medievais de transição de Jean Buridan e Roger Bacon.

Figura 37 - Slide11da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Com slide da figura seguinte, o professor recapitula e aprofunda a descrição do que é o método científico. Primeiramente, ele explica a visão de Bacon sobre o método e destaca um aspecto crucial, enraizado na ciência moderna – a verificação independente dos fatos, a “revisão por pares” (“*peer review*”) – de acordo com o qual, um cientista deve, em seu trabalho, fornecer todos os elementos necessários para que colegas possam repetir os seus experimentos e testar independentemente a correção dos seus resultados e conclusões. Em seguida, o professor apresenta o pensamento de Jean Buridan. Esse ilustra a busca por causas comuns, isso é, por teorias abrangentes (unificadoras), especialmente caras na Física. Note o leitor que a proposição de Buridan foi extremamente ousada e importante para o progresso da ciência, dada a vigência, até aqueles dias, da cosmologia aristotélica (capítulo 2), de um universo dividido entre os mundos sublunar e supralunar.
- O instrutor encerra a exposição sobre o método científico com uma nota acerca da “humildade científica”. Ele pontua que a ciência reconhece que o seu método não serve para responder toda pergunta, sobretudo as de caráter subjetivo, como, por exemplo, “Qual é o melhor refrigerante - o X ou o Y?” Na mesma linha, não se deve esperar respostas científicas sobre questões de cunho moral. Utilizar a ciência para tratar desses problemas seria análogo a usar um martelo para apertar um parafuso – o martelo é uma boa ferramenta, porém é inadequada para essa tarefa. Infelizmente, a história mostra que o uso indevido da (pseudo) ciência, assim como o de um martelo, pode provocar

dados terríveis. Por fim, vale lembrar que há outros métodos para explorar o universo em que vivemos, como os da filosofia, o método lógico-dedutivo e outros mais.

Figura 38 - Slide 12 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

O método científico

Roger Bacon (1214-1294)

Bacon descreve o método científico como **um ciclo repetido de observação, hipótese, experimentação** e destaca a necessidade de verificação independente dos resultados.


↓


Ele registrava a forma como conduzia seus experimentos em detalhes precisos a fim de que outros pudessem reproduzir seus experimentos e testar os resultados.

(https://pt.wikipedia.org/wiki/Roger_Bacon)

“Os movimentos dos céus estão submetidos às mesmas leis dos movimentos das coisas cá de baixo, a causa que mantém as revoluções das esferas celestes é a mesma que mantém a rotação do rebole do ferreiro; há uma Mecânica única pela qual se regem todas as coisas criadas, a esfera do Sol e o pião que o menino põe em rotação.”

(DUHEM, P. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Aristote, tomo VII)





Jean Buridan(1300-1358)

Limites, alternativas e distorções

Fonte: Própria autora.

Explicação:

Evidentemente, o propósito aqui é promover o “letramento científico” dos estudantes. Trata-se de uma empreitada imensamente importante e frequentemente negligenciada. É preciso, como professores, lembrar que ensinar o que a ciência aprendeu é diferente de ensinar como a ciência aprende. A autora acredita que todos em uma sociedade, cientistas ou não, deveriam compreender a essência do método científico, o seu valor e também as suas limitações.

Como é fácil perceber, recorreremos ao “poder das histórias” (vide subseção 3.5.4) para atrair o interesse dos estudantes e engajá-los na discussão. Note-se a presença dos elementos típicos de uma história: personagens (Aristóteles, Russel, Bacon, etc), causalidade, conflito (Aristóteles x Russel) e complicação (Aristóteles baseou-se em observações).

Observações:

Em especial nesta parte do roteiro, observou-se o interesse intenso dos estudantes, evidenciado pelo silêncio completo e olhos voltados para os slides nas partes expositivas e pela participação entusiástica nas perguntas. O fato foi apontado independentemente pelos

observadores (orientador, professora regente) e pela autora.

Cena 8 – O experimento (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor marca o encerramento da sua exposição e a retomada do problema anterior anunciando algo como: “*Vamos voltar à minha questão sobre o movimento de um bloco de aço sobre uma pista de gelo muito lisa e plana - Como varia a velocidade desse corpo enquanto eu o empurro com força constante?*”. Ele recapitula que foram dadas respostas muito diferentes, por meio de gráficos, mas que ele quer saber o que realmente acontece e propõe que os estudantes respondam, agora usando método científico. Ele informa que dispõe de um experimento que poderá ajudar.
- Feito isso, ele passa a descrever, com uma sequência de vídeos, um dos experimentos realizados nesta dissertação. Os métodos experimentais utilizados estão descritos no capítulo 4. Seguem-se os passos da explicação sobre o experimento.

O experimento – parte 1: o trilho de ar

- Primeiramente, o instrutor pondera que seria difícil trabalhar com uma pista de gelo. Em primeiro lugar, o experimento com ela teria que ser muito rápido, ou executado em um ambiente sob forte refrigeração, para que o gelo não derretesse durante as observações. Outro complicador é que, para os nossos propósitos, precisaríamos de uma pista de gelo extremamente plana, lisa e blindada da ação de ventos e outras influências que pudessem interferir no movimento do bloco. O professor afirma que, por essas e outras razões, o experimentador não usou uma pista de gelo, mas algo “parecido” - um trilho de ar que ele apresentará em seguida.
- Ele mostra o vídeo contido no slide da figura 39 e vai narrando os seus acontecimentos. Nele, a autora mostra o trilho de ar e demonstra que um objeto metálico colocado sobre ele, o “planador”, desliza por uma extensão inesperadamente longa, quando impulsionado pela força diminuta de um fraco peteleco. O instrutor chama a atenção dos estudantes para esse fato e observa que o trilho parece ser “extremamente escorregadio”, como uma pista de gelo.

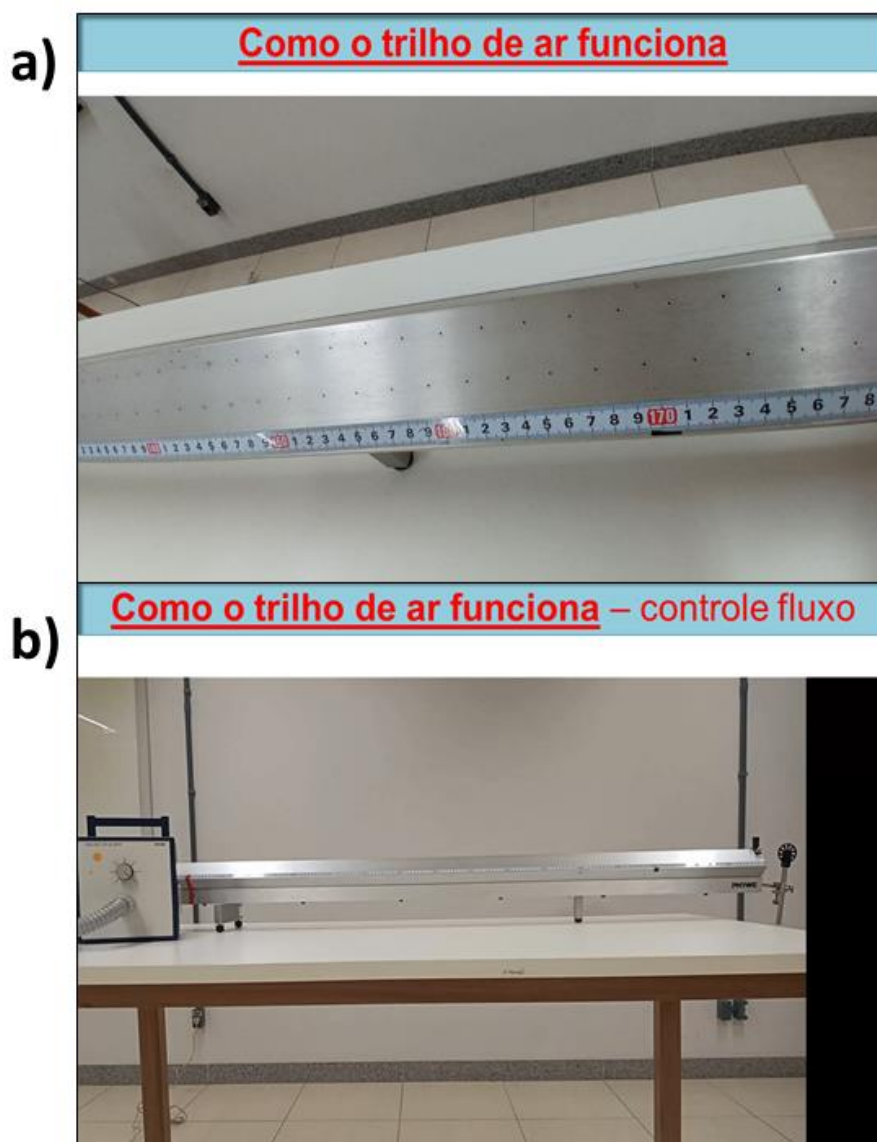
Figura 39 – Slide 13 (com vídeo) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Em seguida, ele pergunta como se consegue isto (um trilho tão “escorregadio”). Sem aguardar resposta, o professor diz que os vídeos seguintes irão responder isto e passa a apresentar o primeiro deles (parte a da figura 40). Nessa curta filmagem, em zoom sobre o trilho, mostra-se que a sua superfície contém um grande número de pequenos furos. No vídeo seguinte (parte b da figura 40), a autora mostra um compressor que injeta ar no trilho, criando, assim, um fluxo de ar considerável, que sai pelos furos revelados antes. Com isso, o professor pode explicar que o planador se move sobre um “colchão de ar”, mal tocando a superfície do trilho. Disto, decorre a redução extrema do atrito, observada no vídeo anterior, que faz com que a situação do planador no trilho, se assemelhe à do bloco de aço sobre uma superfície de gelo.
- Ainda com este vídeo (parte b da figura 40), o professor mostra que a intensidade do fluxo de ar pode ser controlada por meio do compressor. Ele destaca, como demonstra a autora no vídeo, que sob um fluxo de ar grande, como fora mostrado antes, o trilho é muito escorregadio; porém, com fluxos menores, o planador impulsionado para rapidamente, semelhante ao que vemos cotidianamente com objetos que empurramos sobre uma mesa.

Figura 40 – Slides 14 e 15 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

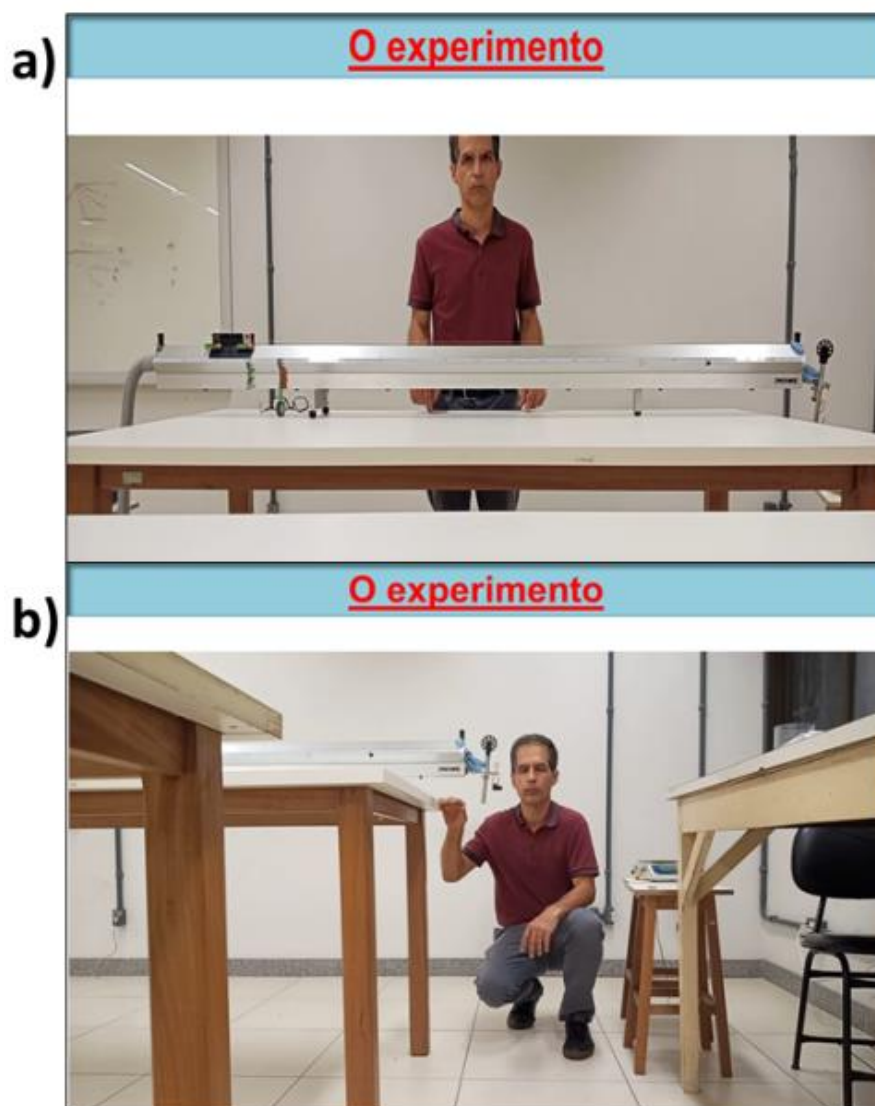


Fonte: Própria autora.

O experimento – parte 2: a força

- Em seguida o professor explica como será aplicada uma força no planador durante o experimento. Para isso, ele utiliza os vídeos inseridos nos slides 16 e 17 (partes a e b da figura 41). No primeiro (parte a), é mostrado que há uma fina linha, que passa por uma roldana (pequena e leve), conectando o planador a um objeto que, ao cair, puxará o planador. No outro (parte b), mostra-se em detalhe a roldana e o puxamento do planador pelo objeto em queda.

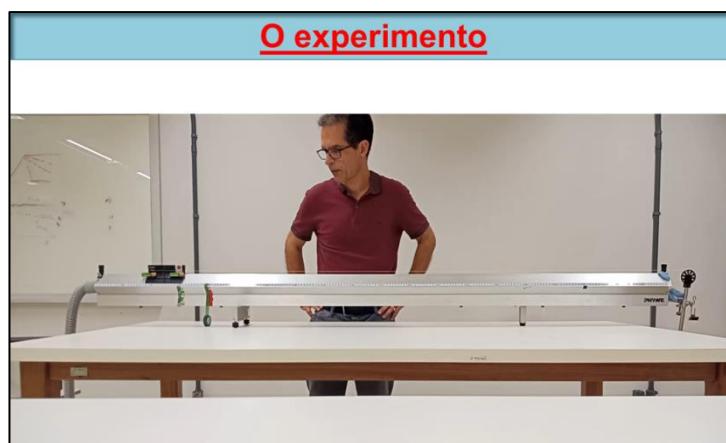
Figura 41 - Slides 16 e 17 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Prosseguindo, o instrutor mostra o movimento do planador sendo puxado pelo objeto em queda, capturado no vídeo contido no slide 18, na figura 42.

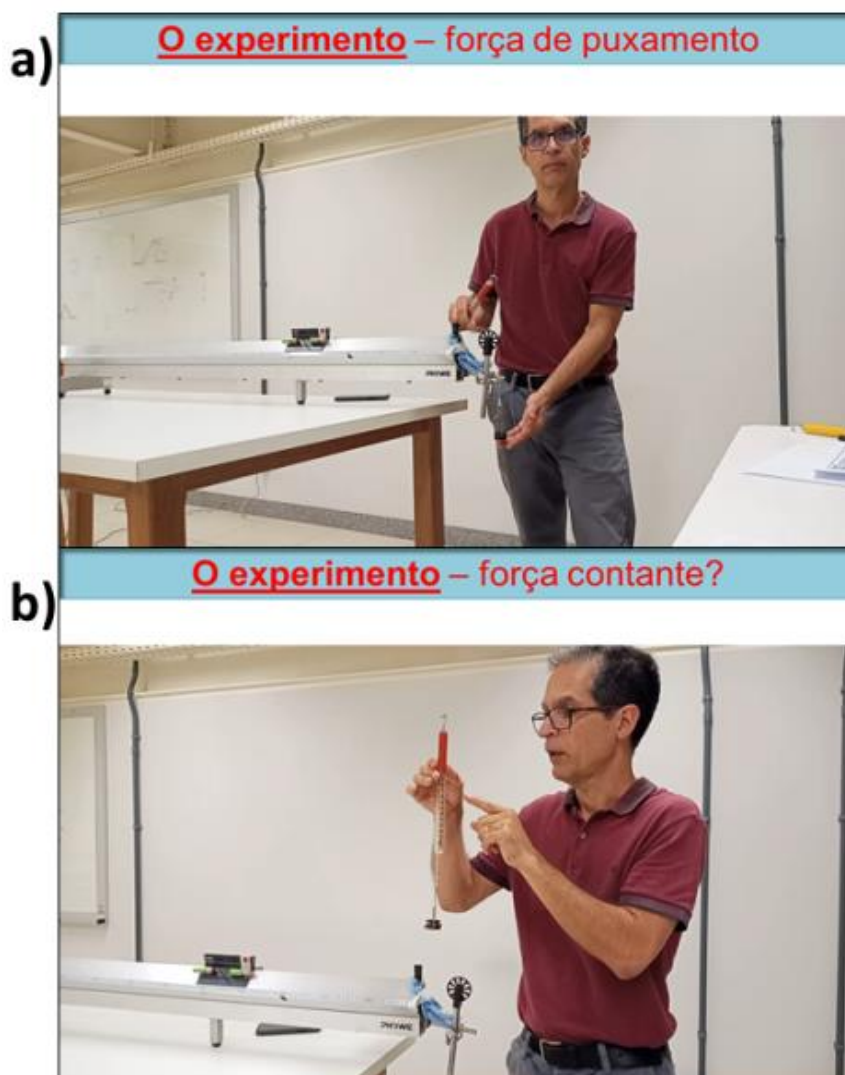
Figura 42 – Slide 18 (com vídeo) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora

- Agora, o professor precisa convencer (racionalmente) os estudantes de que a força com que o planador é puxado é constante. Para isso, ele utiliza os vídeos nos slides 19 e 20, mostrados, respectivamente, nas partes a e b da figura 43 abaixo. No primeiro deles, recapitula-se o mecanismo pelo qual o planador é puxado e questiona-se se a força com que ele é puxado seria constante. Ainda neste vídeo, é explicado como essa pergunta pode ser respondida usando-se um dinamômetro. Depois de mostrado esse instrumento, apresenta-se o slide 20, no qual se mede a força (peso) com qual a Terra atrai o objeto que puxará o planador.

Figura 43 – Slides 19 e 20 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

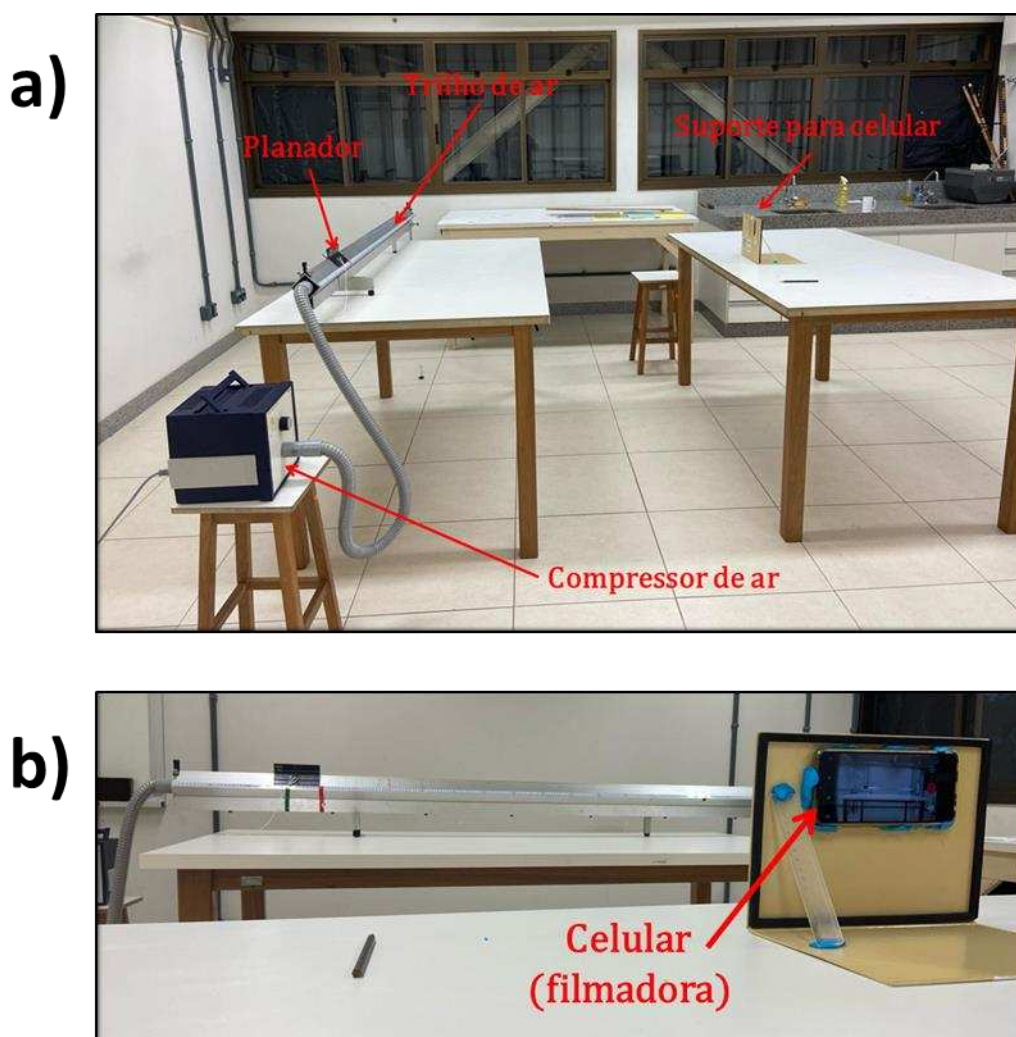


Fonte: Própria autora.

O experimento – parte 3: a montagem e o “Tracker”

- Feito isso, o professor apresenta a montagem experimental mostrada na figura 44. Na fotografia na parte superior, ele localiza o trilho de ar, o planador, compressor de ar e também o telefone celular com o qual o movimento do planador será filmado. Por fim, ele usa a fotografia na parte inferior desta figura para mostrar o arranjo que suporta o celular e destaca o trilho de ar ao fundo.

Figura 44 – Slides 21 (parte a) e 22 (parte b) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton




Fonte: Própria autora.

- Com os slides da figura 45 (partes a e b), o professor apresenta brevemente o programa “Tracker”, de análise de vídeo e mostra alguns resultados interessantes da sua aplicação. Ele menciona que o aplicativo é gratuito, informa o sítio da web do qual ele pode ser obtido e sugere que se trata de uma ferramenta fantástica para aqueles que têm curiosidade por investigar o mundo por conta própria. Ao mencionar algumas das possibilidades do *Tracker*, o professor destaca aquela relevante para o experimento: a capacidade de, partindo da filmagem do movimento de um corpo, obter a sua velocidade em diferentes instantes e de apresentar essa informação em um gráfico de velocidade x tempo.

Figura 45 – Slides 23 e 24 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

a)



b)

Tracker
Video Analysis and Modeling Tool

- Ferramenta **gratuita** de análise e modelagem de vídeo;
- Rastreamento manual e automatizado de objetos com obtenção dados cinemáticos (posição, velocidade e aceleração);
- Compatível com vários formatos de vídeos (avi, mp4, wmv , etc);
- Funciona em computadores de baixo desempenho;
- Disponível em diversos idiomas (inclusive português);
- Tutoriais em vídeo;
- <http://physlets.org/tracker/>.

Fonte: Própria autora.

Explicação:

- Na explicação anterior do experimento e do aparato experimental o professor aproveita a ocasião para aprofundar a discussão sobre o método científico em termos concretos. Nela, o instrutor ilustra, com um exemplo concreto, uma faceta importante da experimentação no método científico – a “modelagem”. Nesse processo, realizamos os experimentos com um “modelo”, isso é, com um sistema mais simples e ou controlável, que “imita” o sistema mais complexo que queremos estudar. Os testes mostrados indicam que o conjunto planador-trilho de ar, com os devidos cuidados (trilho, nivelado, fluxo de ar grande etc.), é um bom modelo para o sistema bloco-superfície sobre o qual queremos aprender. Parece razoável esperar que aquilo que aprendermos sobre o movimento do planador no trilho se aplique também ao movimento do bloco no gelo.

- A menção ao programa *Tracker* de análise de vídeo, a sua gratuidade, facilidade de utilização e possibilidades interessantes de uso visam estipular os alunos a utilizá-lo independentemente de maneira criativa e instrutiva. Sim, é provável que a maioria não o faça. Contudo, essa autora confessa que sonha que alguns estudantes poderão enveredar por esse caminho, fazendo medidas, ponderando sobre elas, pensando perguntas novas, que envolvam novos experimentos e reflexão.

Observações:

- Os estudantes pareceram entender sem dificuldade o experimento proposto, tanto o seu esquema geral, como aparato envolvido e a analogia entre a pista de gelo e o trilho de ar. Muitos demonstraram atenção aos vídeos; alguns chegaram a associar o trilho de ar ao hóquei de mesa e outros questionaram sobre o material do qual era feito o planador. Além disso, quando indagada se havia sentido dificuldade em perceber a analogia entre o trilho de ar e a pista de gelo e entre o planador e o bloco de aço, uma estudante relatou não ter tido nenhuma dificuldade, afirmando que percebeu facilmente que o planador representava o bloco de aço e o trilho de ar a pista de gelo.
- Não foi possível perceber se a promoção do *Tracker* pelo professor provocou interesse. Não houve pergunta sobre o programa.

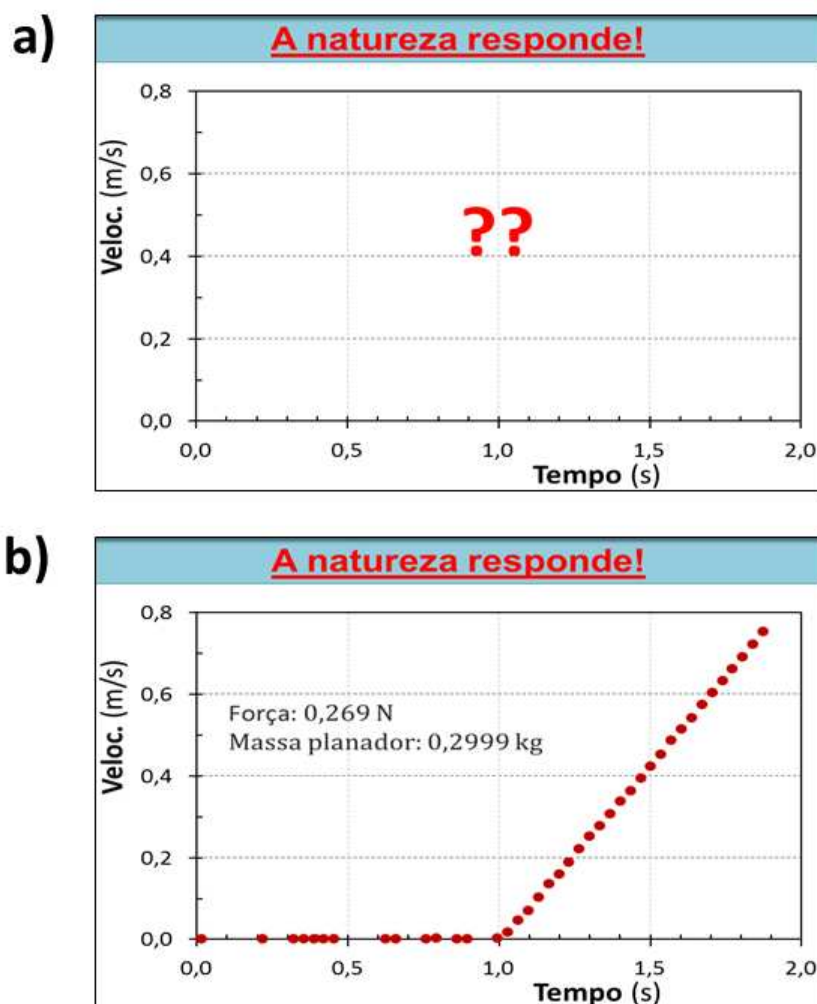
Cena 9 – Resultado: como a velocidade varia (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Projetando o primeiro slide da figura 46 abaixo, o professor diz que o movimento do planador sobre o trilho de ar, puxado por uma força constante, foi filmado e analisado com o *Tracker* e que o resultado está no gráfico daquele slide.
- Antes de revelar o resultado, ele recapitula que esse experimento controlado deverá responder a questão anterior – “*Como a velocidade do bloco varia enquanto o empurrarmos com uma força constante sobre uma pista de gelo?*”.
- Depois de pedir que cada estudante tenha à vista a sua resposta na folha de atividades, ele revela a “resposta da natureza” (aquela obtida experimentalmente), apresentando o gráfico no segundo slide da figura 46.
- O instrutor solicita que os estudantes descrevam o que veem no gráfico. Em seguida, ele pergunta se a força constante levou o planador uma velocidade constante.

Neste ponto, o professor oportunamente ajuda os alunos a distinguirem previsão e fato, assim como teoria e experimento.

Figura 46 – Slides 25 e 26 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: própria autora.

Explicação:

- Esta cena é vital: ela busca criar o “conflito cognitivo”, mencionado por Piaget e discutido na seção 3.2. Além disso, caminha-se aqui no propósito de promover o “letramento científico” dos estudantes.

Observações:

- Definitivamente, houve grande surpresa entre os estudantes ao reconhecerem no gráfico experimental que a velocidade do planador não era constante, que ela não havia atingido um valor terminal, mas que aumentava contínua e linearmente.

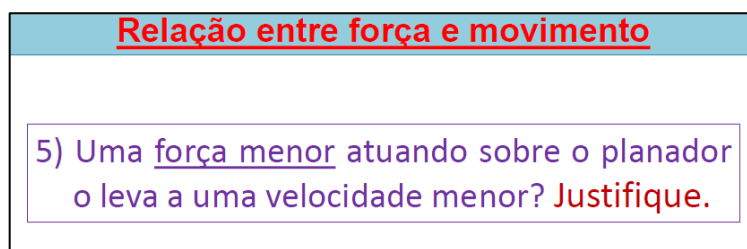
- Os estudantes perceberam e aceitaram o fato de que a velocidade do planador aumentava continuamente. Reconheceram também que as suas previsões anteriores estavam em desacordo com esse comportamento. Não ocorreu, porém é concebível que algum discente venha, em outra aplicação do material, a argumentar que se o experimento for realizado por um tempo mais longo, veríamos a velocidade atingir um valor constante. Essa hipótese é enfraquecida na continuidade desta sequência didática, pois serão mostrados resultados semelhantes aos anteriores, porém para medições mais longas. Além disso, os estudantes serão levados à segunda lei de Newton que dá conta do comportamento observado no gráfico anterior e contradiz a expectativa desse estudante. Naturalmente a hipótese dele não pode ser lógica e cabalmente refutada. Contudo, esta discussão apresentaria ao professor a oportunidade de pontuar a superioridade de uma teoria que dá conta dos fatos observados (inclusive no aspecto quantitativo), ante outra vaga e amparada apenas na intuição das pessoas.

Cena 10 – Resultado: o efeito de forças diferente (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Projetando o slide da figura 47 abaixo, professor revisita a essência de uma das suas perguntas iniciais: *“Uma força menor atuando sobre o planador o leva a uma velocidade menor? Justifique.”*

Figura 47 – Slide 27 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

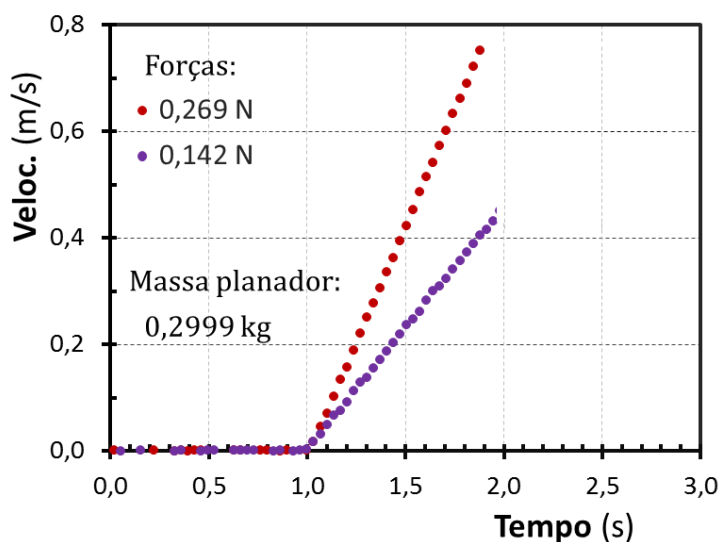


Fonte: Própria autora.

- O professor informa que o experimento foi realizado – mediu-se a velocidade do planador como função do tempo, enquanto ele era puxado com uma força constante, menor que aquela do experimento anterior. Em seguida ele projeta o gráfico da figura 48 abaixo e explica que os pontos vermelhos são aqueles obtidos no experimento anterior, realizado com uma força de 0,269 N; enquanto os roxos referem-se ao experimento feito

com uma força menor (0,142 N).

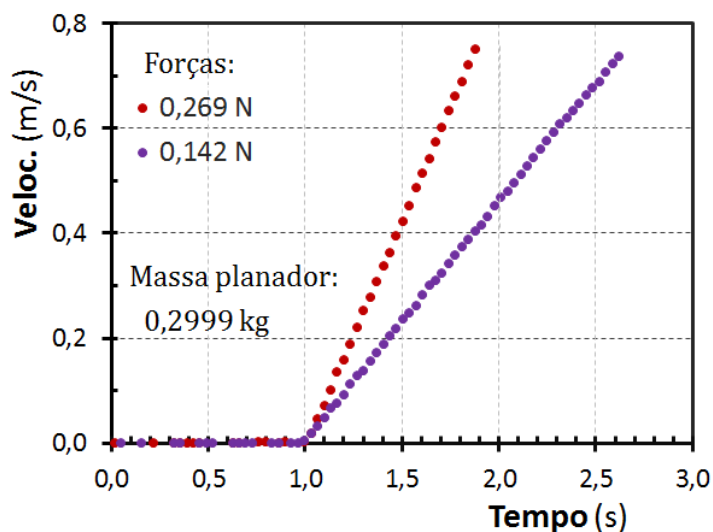
Figura 48 – Slide 28 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Dado um tempo breve para o exame do gráfico anterior (slide 28 na figura 48), o docente aponta que com uma força menor a velocidade também aumenta continuamente, porém mais lentamente. Contudo, novamente não parece haver indício de que ela irá atingir um valor contante. Ele, então pergunta: “*Se o planador continuasse a ser puxado com a força menor, será que ele, em algum momento, chegaria a uma velocidade tão grande quando aquela atingida no experimento com força maior (pontos vermelhos)?*” Sem esperar por respostas, ele diz que isso foi feito e apresenta o resultado no gráfico da figura 49, abaixo. Comentando – “*Como se vê, dado tempo suficiente, a força menor pode perfeitamente levar o planador a velocidades maiores.*”

Figura 49 – Slide 29 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

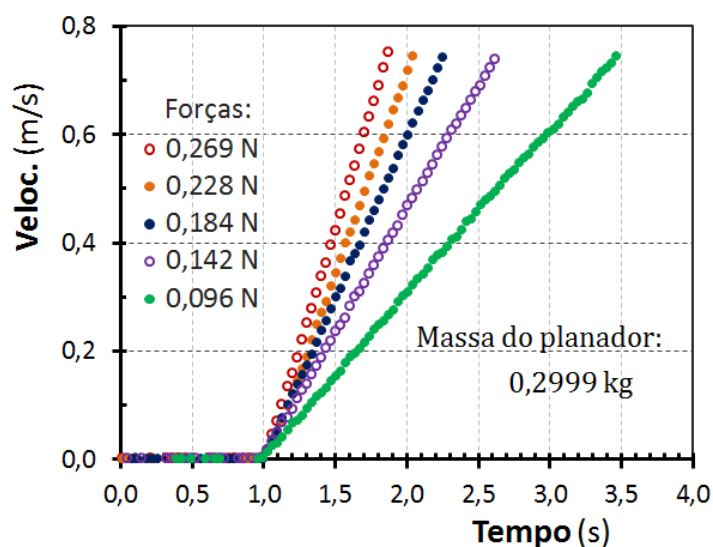


Fonte: Própria autora.

Cena 11 – Aceleração: experimento e teoria (2ª lei de Newton)**Roteiro:**

- O professor informa que o experimento foi repetido com várias outras forças (constantes) com diferentes magnitudes, como é mostrado no gráfico da figura 50, abaixo. Destaca-se que, mantendo constante a massa do planador (299,9 g), quanto maior é a força, mais rapidamente aumenta a sua velocidade. Além disso, percebe-se que para cada força a velocidade aumenta linearmente, isto é, a uma taxa constante.

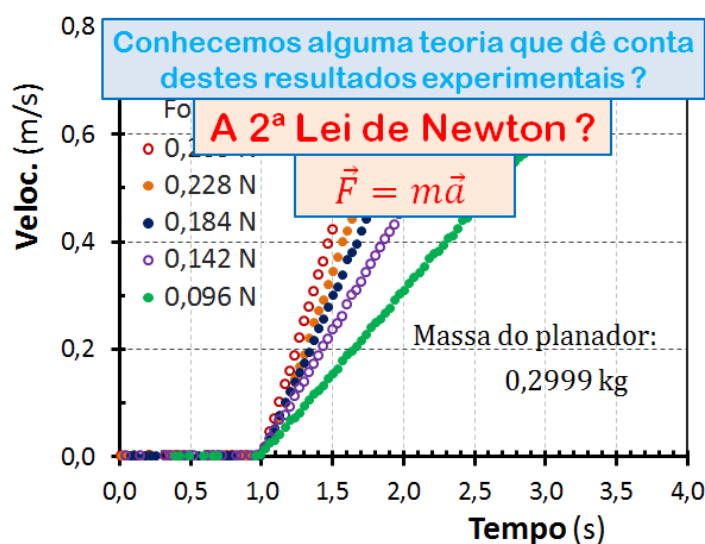
Figura 50 – Slide 30 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- O professor indaga o que o gráfico anterior revela sobre a aceleração do planador. O professor recorda o conceito de aceleração, visto no conteúdo de cinemática, e leva os estudantes concluir que a aceleração é constante com cada força, sendo maior para forças maiores.
- Neste ponto, projetando a primeira pergunta na figura 51 que se segue (aquela em azul), o docente questiona se alguém conhece uma “teoria” que poderia prever os fatos observados - a aceleração constante e, tanto maior, quanto maior a força. Depois de estimular e ouvir respostas, ele projeta a segunda pergunta e, em resposta, explica que ela de fato prevê uma aceleração constante, se a força resultante for também constante.
- O professor acrescenta que ela pode ser usada para prever a aceleração do planador a partir da força resultante que age sobre ele e da sua massa. Contudo, ele questiona se essa previsão coincidiria com a aceleração do movimento “real”? Quão precisa é a segunda lei de Newton?

Figura 51 - Slide 31 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



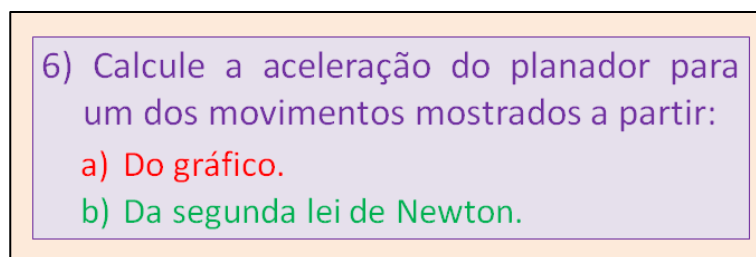
Fonte: Própria autora.

- Neste momento, o estágio está pronto para que o professor convide o discente a “ser o cientista”, a comparar com rigor a previsão da sua “teoria” (hipótese) com a observação criteriosa do fenômeno. Ele explica que pode, para cada força usada no experimento, utilizar o gráfico de velocidade x tempo para calcular qual foi a aceleração do planador.

O docente acrescenta que pode também usar a segunda lei de Newton para prever qual deve ser o valor da aceleração com aquela força. Ele aguça a curiosidade da turma perguntando: “*Será que a segunda lei realmente funciona?! Quanto precisamente ela prevê a aceleração do planador?*”.

- O instrutor propõe que os estudantes se lancem a essa investigação. Projetando o slide da figura 52, ele solicita que os estudantes trabalhem em grupos para calcular a aceleração a partir dos dados no gráfico de velocidade x tempo e também a partir da segunda lei de Newton. Ele informa que nas folhas de atividades há cópias desse gráfico (aquele da figura 50). Para ganhar tempo, ele atribui a cada grupo a responsabilidade de calcular a aceleração do planador com uma só das cinco forças. Ele sugere que primeiro se calcule a aceleração a partir dos dados experimentais, das retas no gráfico mencionado.

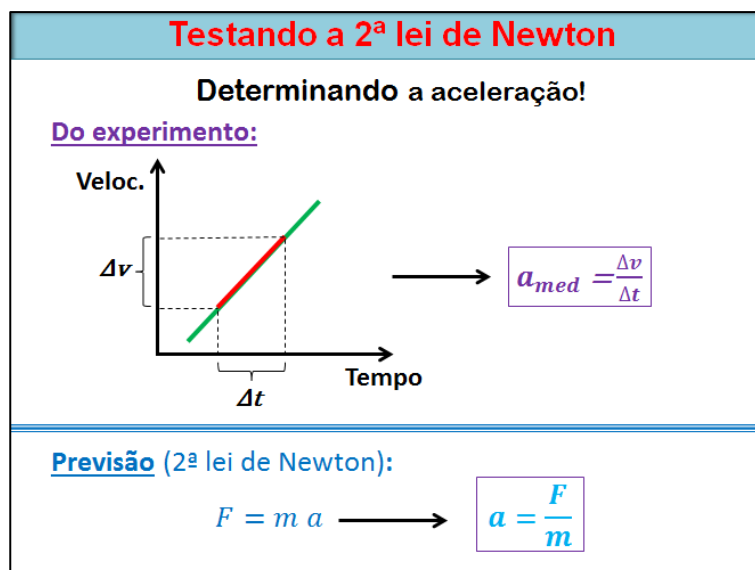
Figura 52 – Slide 32 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Enquanto os grupos começam a trabalhar, o professor os visita para se inteirar das ideias e resultados. Depois de cerca de cinco minutos, ele chama para si a atenção e, usando o slide da figura 53, sugere como a aceleração do ser obtida. Primeiro ele projeta a parte superior do slide nessa figura (porção acima da linha azul) e recapitula como obter a aceleração a partir do gráfico de velocidade x tempo. Usando a parte inferior do slide, ele indica como obter a previsão da aceleração a partir da massa do planador e da força resultante sobre ele.

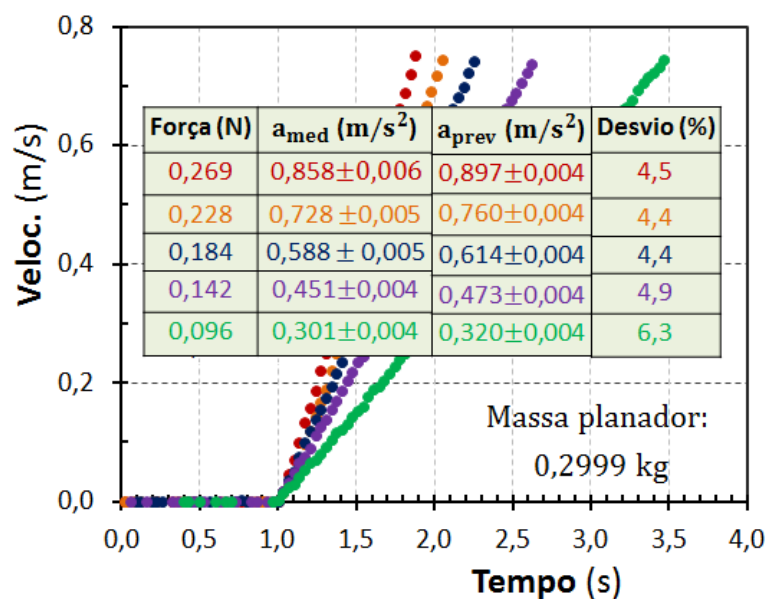
Figura 53 – Slide 33 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- À medida que os alunos obtêm os seus resultados, o professor solicita que um membro do grupo os insira em uma tabela, semelhante àquela na figura 54, que havia desenhado no quadro.
- Obtidos os resultados para as cinco forças (ou a maioria deles), o professor convida os discentes a apresentarem as suas conclusões e comentários.
- Em seguida, o docente diz que fez também os cálculos da aceleração. Sem entrar em detalhes, ele acrescenta que além da aceleração, ele estimou a precisão dos seus cálculos. Feito isso, ele apresenta os resultados com o slide da figura 54.

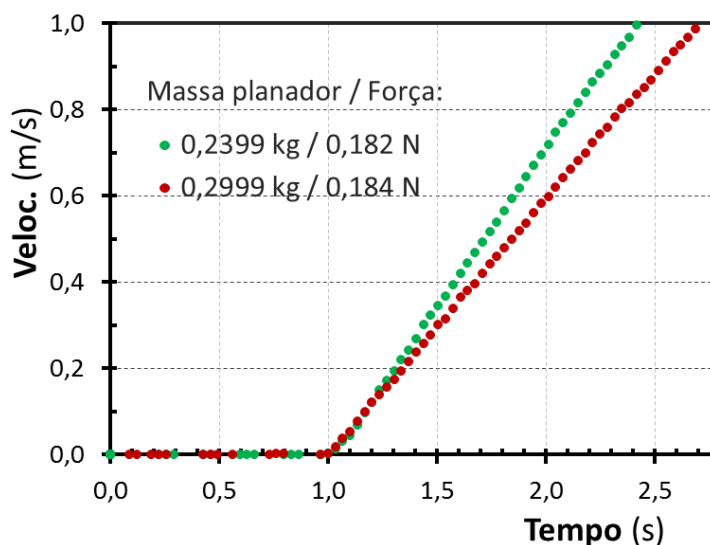
Figura 54 – Slide 34 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Caminhando para o final, o docente menciona que os resultados apresentados até o momento foram todos obtidos com um planador com massa de 299,9. Ele propõe que seria interessante investigar se a segunda lei de Newton realmente descreve corretamente a aceleração de corpos com massas diferentes. Para isso, ele apresenta os resultados na figura 55, obtidos em um experimento no qual se utilizaram planadores com massas diferentes, sujeitos (muito aproximadamente) à mesma força.

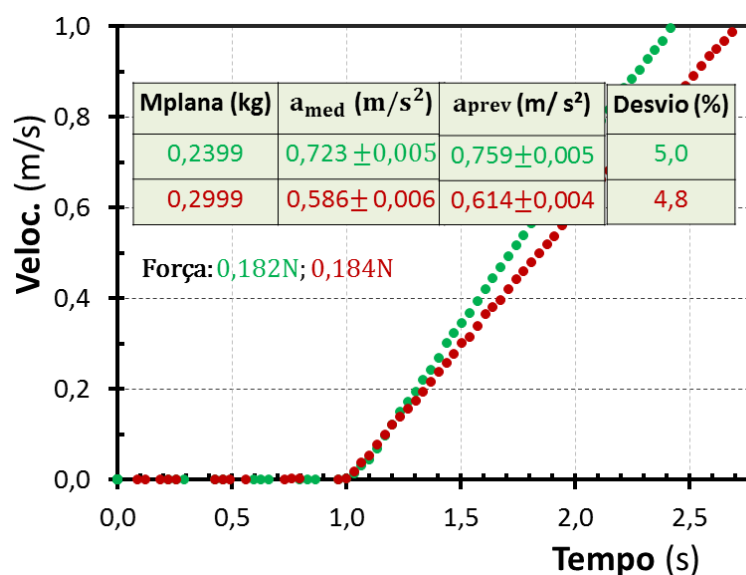
Figura 55 – Slide 35 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Analogamente àquilo que fez antes, o professor solicita que os alunos obtenham a aceleração a partir dos resultados no gráfico da figura 55 e ainda que calculem o valor previsto pela segunda lei de Newton. Ele informa que há cópias desses gráficos nas folhas de atividades e orienta que cada grupo trate dos dados advindos do experimento com uma das forças usadas.
- Depois que a turma obteve e compartilhou no quadro a aceleração medida experimentalmente e aquela prevista pela segunda lei, o professor mostra os seus resultados com o slide da figura 56.

Figura 56 – Slide 36 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Na sequência, o professor oportuniza comentários por parte dos alunos e pergunta o que eles concluem sobre a validade da segunda lei de Newton.

Explicação:

- A atividade permitiu que os estudantes verificassem quantitativamente a segunda lei de Newton, ganhassem experiência com os conceitos de aceleração e velocidade e praticassem o método científico.

Observações:

- A maioria dos grupos conseguiu calcular a aceleração a partir dos resultados experimentais e da segunda lei de Newton.

Cena 12 – Síntese (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Encerrando a aula, o professor recapitula as conclusões lendo os tópicos no slide da figura 57 abaixo.

Figura 57 – Slide 37 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.

CONCLUSÕES:

- A velocidade de um corpo **NÃO** é determinada pela força resultante que age sobre ele.
 - Força resultante maior não necessariamente leva a velocidade maior.
- A aceleração é determinada pela força resultante e pela sua massa do corpo.
 - Com uma força resultante maior, a aceleração do corpo é maior, isso é, a sua velocidade varia mais rapidamente.
- A aceleração de um corpo é precisamente determinada pela segunda lei de Newton:

$$a = \frac{F}{m}$$

Aceleração →
← Força resultante
← Massa do corpo

(vetorialmente: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$)

Fonte: Própria autora.

- O instrutor recolhe as folhas de atividades dos alunos.

Explicação:

- Depois de um trabalho intenso e, por vez, confuso para o estudante, é importante sintetizar organizadamente as conclusões. A leitura por parte do professor visa diminuir a carga cognitiva para o estudante.
- Evidentemente, as folhas de atividade contêm informações importantes para o professor. Além disso, o seu recolhimento reforça a mensagem da expectativa de atividade (capítulo 3), importante para eventuais aulas ativas no futuro.

5.3.2 Análise das Respostas dos Discentes na Sequência Didática Sobre a Segunda Lei de Newton

Os resultados apresentados nesta subseção e na 5.4.2 permitem que professores que eventualmente venham utilizar o material aqui desenvolvido possam se preparar antecipadamente para a atividade e considerar novas avenidas para explorar as concepções dos seus estudantes. Ademais, eles permitem identificar os pontos fortes desse material didático e os pontos fracos que ainda precisam ser aprimorados.

Ressalta-se que a análise apresentada em ambos os apêndices fundamenta-se na interpretação da autora.

A pergunta 1:

Como explicou-se na subseção 5.3.1, a primeira questão da folha de atividades da intervenção sobre a segunda lei de Newton (ver apêndice B) pretende estimular o estudante a recordar e a explicitar as suas crenças sobre relação entre força e movimento. Conforme discutido na subseção 2.1.1, muitos discentes compartilham a concepção de que um corpo só pode estar em movimento se a força resultante sobre ele for não-nula e, mais especificamente, de que a sua velocidade é proporcional à magnitude dessa força. Como se vê em seguida, a maioria das respostas dos nossos alunos seguiu essa linha.

A resposta correta para a pergunta acima, assim como para as demais da folha de atividades, pode ser obtida com base na segunda lei de Newton. De acordo com essa lei, a força resultante sobre um corpo determina a sua aceleração, não sua velocidade. Uma força resultante maior gera uma aceleração maior, ou seja, uma variação de velocidade mais rápida (taxa de variação maior).

Uma análise das respostas individuais — aquelas registradas antes das discussões em grupos — mostrou que nenhuma delas se fundamentava nas leis da Física, o que aponta para uma distância entre o aprendizado formal e a compreensão dos fenômenos naturais pelos estudantes. Dos 24 discentes que responderam, 23 (95,8% dos presentes) afirmaram que uma força maior levaria a uma velocidade maior, não apresentando, portanto, a resposta correta. Entre esses, 10 (41,7%) justificaram suas respostas com argumentos aparentemente baseados em experiências do cotidiano (exemplos dos alunos 10, 14, 11, 19 e 18), 10 (41,7%) não apresentaram qualquer justificativa (exemplos dos alunos 7, 6, 5, 13, 3 e 2) e 3 (12,5%) deram respostas secas, isto é, que careciam de detalhes adicionais para uma análise aprofundada (exemplo do aluno 20). Esses exemplos são apresentados abaixo, mantendo-se a grafia original:

- **ALUNO 10:** “*Sim. Quanto maior força a exercida sobre um corpo, maior será a intensidade de tal objeto quando chegar ao seu destino final, sua movimentação também será mais rápida.”*
- **ALUNO 14:** “*Sim, por exemplo, se eu exercer uma força maior para empurrar um objeto ela se movimentará mais rápido.”*
- **ALUNO 11:** “*Sim. Pois se aplicar uma força em algum corpo a velocidade vai ser maior, por exemplo se eu aplicar uma pequena força em um lápis ele se movimentará devagar e não irá muito longe e se for com a mais força ele irá se movimentar mais rápido.”*
- **ALUNO 19:** “*Sim. Pois os músculos tem que fazer mais força que o normal, se você jogar um objeto ele vai ir mais longe.”*
- **ALUNO 18:** “*Sim, a pessoa se fizer uma grande força para lançar o objeto ele consegue ir mais longe.”*
- **ALUNO 7:** “*Sim, pois uma força execiva faz com que o corpo se mova numa velocidade maior.”*
- **ALUNO 6:** “*Sim pois quanto maior a força aplicada maior será a trajetória e a velocidade.”*
- **ALUNO 5 e 13 :** “*Sim, pois quando aplicamos uma força em um corpo isso fará ele sair do modo de repozo, e quanto mais força mais veloz o corpo estara.”*
- **ALUNO 3:** “*Sim. Quando uma força atua sobre um corpo o leva ao deslocamento, quando a força exercida é maior, o corpo se movimenta mais rápido.”*
- **ALUNO 2:** “*Sim, pois essa força leva a ter mais impulso e com isso leva a uma velocidade maior.”*
- **ALUNO 20:** “*Sim, o objeto ele não consegue mexer sozinho.”*

Observa-se que os alunos 11, 18 e 19 associaram a força não apenas à velocidade, mas também ao alcance do movimento, isto é, à distância percorrida pelo corpo. Essa concepção sugere que esses estudantes consideram a existência de uma resistência que leva o corpo ao repouso, mas acreditam que uma força maior permite ao objeto percorrer um trajeto mais longo antes de parar. A resposta do aluno 6 indica, também, que o estudante acredita que uma força maior resulta em uma trajetória maior. Já os alunos 5 e 13 demonstraram compreender corretamente que uma força é necessária para colocar um corpo em repouso em movimento.

Por outro lado, somente a resposta do aluno 1 (4,2%), apresentada abaixo, foi considerada parcialmente correta. O discente parece compreender que a força não determina

completamente o movimento de um corpo, sendo necessário considerar, também, como ele se movia antes da força agir. Contudo, o estudante parece acreditar que só há aceleração quando a velocidade do corpo aumenta, revelando uma compreensão limitada desse conceito.

- **ALUNO 1:** *“Eu acho que depende. Depende da direção e do sentido que o tal corpo tinha antes da força atuar sobre ele, por exemplo, um carrinho de supermercado estava no sentido e direção direito e horizontal, se eu empurrar ele na direção contrária, ele ficaria lento por algum tempo, até acelerar.”*

Destaca-se que essa foi a única resposta individual a mencionar o conceito de aceleração e que, assim como as demais, não se fundamenta em leis da Física, baseando-se em observações provenientes da experiência cotidiana.

Após as discussões em grupo, verificou-se que as respostas continuaram sem referência a leis da Física. Entre os 23 (95,8%) estudantes que mantiveram a resposta afirmativa à questão, três (apresentados a seguir) passaram a mencionar que uma força maior resultaria em uma aceleração maior, embora não tenham mencionado a segunda lei de Newton. Esse resultado demonstra a eficácia das discussões entre pares, conforme destaca Mazur (1997) Seria relevante, em pesquisas futuras, investigar mais detalhadamente de que maneira essas discussões contribuem para a construção de respostas corretas. O aluno 1 manteve sua resposta inicial (4,2%).

- **ALUNO 9:** *“Sim. Quanto maior a força aplicada sobre o móvel, maior será aceleração e a intensidade dele.”*
- **ALUNO 10:** *“Sim. Quanto maior a força exercida sobre um corpo, maior será intensidade (impacto) de tal objeto quando chegar ao seu destino final. Sua movimentação e aceleração também será maior.”*
- **ALUNO 6:** *“Sim, quanto maior a força aplicada, maior a intensidade, maior a rotação, maior velocidade e maior aceleração.”*

A Pergunta 2:

A segunda questão da folha de atividades (veja apêndice B), diferentemente da anterior, é muito objetiva e apresenta uma situação concreta: uma pessoa empurrando um bloco de aço liso sobre uma superfície de gelo igualmente lisa e plana.

Como mencionado na subseção 5.3.1, a questão acima tem como propósito levar o estudante a refletir sobre diferentes aspectos do movimento — como trajetória e velocidade — e a explicitar suas concepções sobre a relação entre força e movimento.

De acordo com a segunda lei de Newton, a força resultante constante que atua sobre o bloco resulta em uma aceleração constante, na mesma direção e sentido dessa força.

Nenhum dos 24 estudantes apresentou resposta correta, conforme evidenciado na análise das respostas individuais. Tal como na pergunta 1, nenhuma delas se apoiava em leis da Física. A maioria (11 respostas — 45,8%) carecia de informações adicionais para uma análise aprofundada, como ilustram as respostas dos alunos 5,12 e 21:

- **ALUNO 5:** *“Com mais rapidez, pois a mão que esta o empurrando esta fazendo a força resuntante.”*
- **ALUNO 12:** *“Vai depender da força exercida no bloco.”*
- **ALUNO 21:** *“Depende da força que a pessoa está fazendo. Se ela exercer uma força maior o bloco irá deslizar com ais facilidade.”*

Em sete respostas (29,2%) os estudantes parecem acreditar que a força determina a velocidade, como exemplificam as respostas dos alunos 2, 11 e 15. Essa crença remete ao conhecimento intuitivo listado na tabela 2 como “*velocidade proporcional à força aplicada*”

- **ALUNO 2:** *“Depende da força colocada sobre o bloco. Ex.: se empurrar o bloco com mais intensidade, o bloco irá deslizar mais rápido.”*
- **ALUNO 11:** *“Ele se moverá sempre no mesmo sentido e com a velocidade constante.”*
- **ALUNO 15:** *“Se moverá com facilidade pela superfície, na mesma velocidade ao longo do trajeto porque a força não varia.”*

Três estudantes (12,5%) destacaram a ausência da força de atrito, como exemplifica a resposta do aluno 14:

- **ALUNO 14:** *“Se move com facilidade, deslizando sobre a superfície pois não tem força de atrito.”*

As respostas dos alunos 6 e 17 (8,3%), destacadas abaixo, sugerem uma incompreensão da questão. Para evitar esse problema, o professor pode enfatizar a constância da força, explicando que o seu módulo, direção e sentido não mudam durante o movimento, e que a superfície de gelo está isenta de qualquer imperfeição ou rachadura.

- **ALUNO 6:** *“Ele irá deslizar sobre o gelo, até encontrar alguma imperfeição ou rachadura no gelo e assim irá parar ou interromper sua trajetória.”*
- **ALUNO 17:** *“Pelo contexto da pergunta ao meu ponto de vista, a força que você impõe sobre o bloco, ela vai se diminuindo a força ao longo da superfície”*

Por fim, uma das respostas (4,2%) não pôde ser compreendida em virtude da caligrafia do discente:

Embora **as discussões em grupo** não tenham resultado em respostas corretas nem fundamentadas em leis da Física, observou-se um aprimoramento em algumas delas. Das doze respostas (50,0%) que ainda associavam força e velocidade, algumas — as dos alunos 6, 8, 9 e 10 apresentadas a seguir — mencionaram explicitamente o conceito de aceleração, citado pela primeira vez na questão. As respostas “secas” passaram de onze para nove (37,5%), e aquelas que mencionavam a ausência de atrito permaneceram em três (12,5%)

- **ALUNO 6:** *“O bloco desliza sobre o gelo de forma constante, mas se a superfície do gelo estiver com imperfeições, vai ocorrer uma leve variação em sua velocidade e sua aceleração.”*
- **ALUNO 8:** *“Ele deslizaria com facilidade, mas, caso ele encontrasse algum obstáculo, ocorreria uma leve variação de velocidade e aceleração, mas, logo voltaria a aceleração e velocidade inicial.”*
- **ALUNO 9:** *“O bloco iria se mover com facilidade, mas se encontrasse algum obstáculo a velocidade e a aceleração sofreria um leve impacto, variando por algum tempo, mas retornando a sua velocidade e aceleração inicial depois de algum tempo*
- **ALUNO 10:** *“Ele deslizaria com facilidade, mas, caso encontre um obstáculo – como uma rachadura – sua velocidade e aceleração teriam uma leve mudança, mas assim que passasse o obstáculo retornaria a velocidade e aceleração inicial”*

A Pergunta 3:

Conforme mencionado na subseção 5.3.1, a terceira questão da folha de atividades (veja apêndice B), tem o objetivo de especificar a pergunta anterior.

A terceira questão é essencialmente igual à segunda, distinguindo-se apenas por indagar especificamente sobre a velocidade do corpo — como ela irá variar enquanto atua sobre o bloco uma força constante. Como mencionado, a segunda lei de Newton nos leva à resposta: a força resultante constante produz uma aceleração constante, de forma que a velocidade do bloco, inicialmente nula, irá aumentar linearmente — ou seja, a uma taxa constante.

Novamente, observou-se que nenhuma das respostas individuais apresentava justificativa científica. Apenas a resposta do aluno 4 (4,2%), transcrita a seguir, foi

considerada incompleta, por não citar o aumento linear da velocidade (nem a segunda lei de Newton, como já mencionado).

- **ALUNO 4:** *“Ela aumenta gradualmente por causa da superfície lisa do gelo e pela força aplicada no bloco.”*

Das demais 23 respostas (95,8%), todas incorretas, 17 (70,8%) associavam novamente força e velocidade, como exemplificam as respostas dos alunos 14, 7, 13, 2, 1 e 16 apresentadas abaixo.

- **ALUNO 14:** *“Não varia, pois a força exercida é constante e conseqüentemente essa velocidade se mantém.”*
- **ALUNO 7:** *“Depende pois quanto mais força você por mais rápido ele vai andar.”*
- **ALUNO 13:** *“A velocidade varia de acordo com o tanto que você empurra.”*
- **ALUNO 2:** *“Depende da força colocada através da mão para o bloco.”*
- **ALUNO 1:** *“A velocidade depende puramente da força, nessa situação. Se em um momento eu aplicar menos ou mais força que em algum outro, a velocidade variaria.”*
- **ALUNO 16:** *“Como eu estou o movendo com força constante, a velocidade não varia, mas se houver uma mudança de direção a velocidade irá se alterar.”*

Entre essas respostas destacam-se as dos alunos 1 e 16. Como é evidente, a crença básica ainda é a mesma: força determina velocidade. Porém, a resposta do aluno 1 sugere que só há variação de velocidade se houver variação de força. Por sua vez, a resposta do estudante 16 parece destacar a natureza vetorial do efeito produzido por uma força. Aparentemente, ele acrescenta que caso a força venha a mudar a direção, supostamente a direção do vetor velocidade mudaria. Em suma, talvez a concepção alternativa seja: $\vec{F} = c \vec{v}$, com c constante.

A resposta do aluno 18 (4,2%), apresentada abaixo, sugere a crença aristotélica de que, para mover um corpo, é necessário superar uma resistência intrínseca a ele — a massa — a qual não se distingue do peso, conforme discutido em 2.1.1.

- **ALUNO 18:** *“Dependendo do peso do objeto assim ela precisa usar mais força para objeto se mover.”*

Em quatro respostas (16,7%), como a dos alunos 21 e 23 a seguir, não foi possível identificar claramente se os estudantes consideravam que a variação da velocidade do bloco depende da força resultante constante ou se a velocidade é determinada pela força, como indicado pela maioria.

- **ALUNO 21:** *“Dependendo da força que está exercendo.”*
- **ALUNO 23:** *“Dependendo da força aplicada.”*

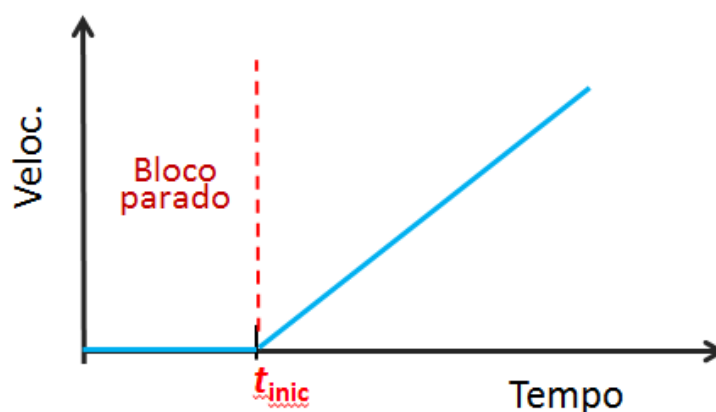
Por fim, uma resposta (4,2%) não pode ser compreendida por causa da caligrafia do discente.

Concluídas as discussões, verificou-se que todas as respostas estavam incorretas e desprovidas de fundamentação científica. A maioria (15 — 62,5%) continuava a relacionar força e velocidade; enquanto 6 (25%) estavam em branco e 3 (12,5%) apresentavam informações insuficientes para uma análise mais detalhada.

A pergunta 4

Lembrando, a quarta questão da folha de atividades sobre a segunda lei de Newton (veja apêndice B) solicita que o estudante responda graficamente (com um gráfico velocidade x tempo) como espera que o bloco na superfície de gelo se mova quando é empurrado, a partir do repouso, com uma força constante. Como já mencionado, a segunda lei de Newton nos responde que a força resultante constante sobre o bloco fará a sua velocidade aumentar a uma taxa constante (aceleração constante), como é ilustrado no gráfico da figura 58 que se segue.

Figura 58 – Resposta correta para a quarta questão da folha de atividades sobre a segunda lei de Newton

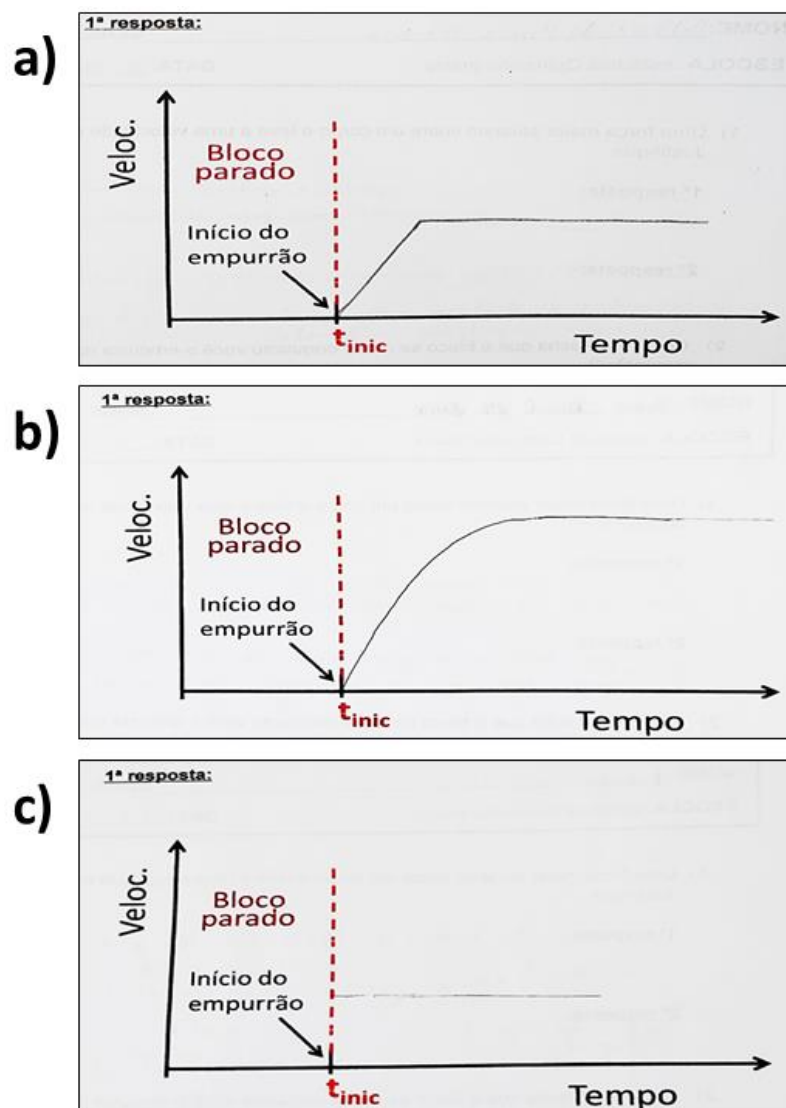


Fonte: Própria autora.

A totalidade dos esboços apresentados pelos estudantes, **antes da discussão em grupos**, divergiam da resposta newtoniana acima. De fato, com exceção de uma resposta incompreensível (vide adiante), em todas as outras (22, 91,7%) o discente indicava que o bloco eventualmente atingiria uma velocidade constante. Essas respostas diferiam apenas no comportamento antes dessa velocidade final ser atingida. A maioria (18 alunos, 75,0%) propôs que a velocidade aumentaria linearmente, como exemplificado na parte a da figura 59. Outro grupo (3 discentes, 12,5%) acreditava que a velocidade cresceria assintoticamente de

zero até um valor terminal (parte b da figura 59), enquanto um único aluno (4,2%) indicou que a velocidade final seria atingida instantaneamente (parte c da figura 59).

Figura 59 – Respostas apresentadas pelos estudantes (antes da discussão) à questão 4 da folha de atividades da intervenção sobre a segunda lei de Newton

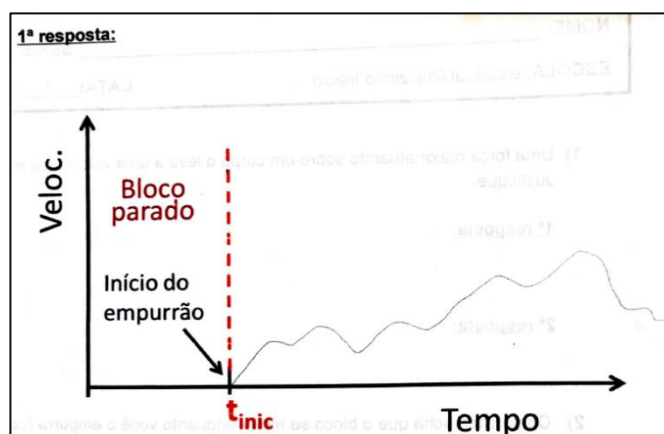


Fonte: Própria autora.

Coerentemente com as diferenças nas respostas acima, os discentes deram importância ao aspecto de como a velocidade terminal seria atingida. Quando foram encorajados a compartilhar e justificar a sua resposta, vários estudantes explicaram que a força constante sobre o bloco deveria levá-lo a velocidade constante, porém não lhes parecia razoável que ela aumentasse subitamente de zero para esse valor final — ela deveria fazê-lo gradualmente.

Houve ainda uma resposta (4,2% dos alunos) segundo a qual a velocidade teria um comportamento oscilatório irregular (figura 60). É difícil entender que ideias subjacentes poderiam dar origem a tal proposta. É provável que ela seja fruto da ausência de uma ideia sobre como responder à questão.

Figura 60 - Resposta individual apresentada pelo aluno 2 à quarta questão da folha de atividades



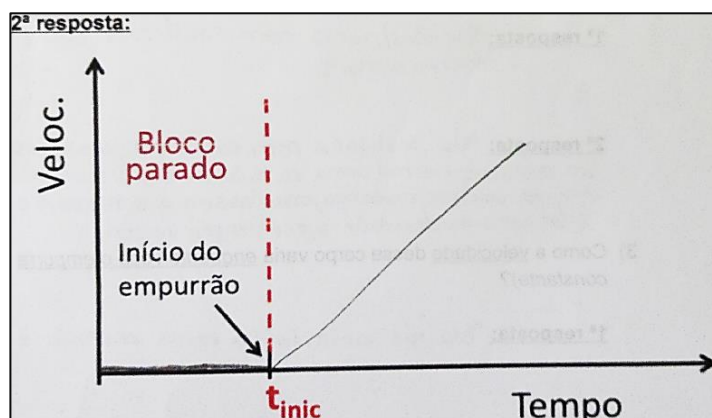
Fonte: Própria autora.

Por fim, um discente não apresentou (4,2%) resposta.

Em suma, a despeito das diferenças apontadas, todas as respostas apresentadas eram de natureza não-newtoniana e 22 (91,7%) delas claramente evocavam as concepções alternativas discutidas na seção 3.1. Com efeito, vemos aqui, surgir com vigor, a visão segundo a qual a força que atua sobre um corpo determina a sua velocidade, seja na forma da concepção alternativa (tabela 2) de que a velocidade é proporcional à força aplicada ou naquela de que a essa força leva o corpo a velocidade terminal. Uma vez mais, não houve uma tentativa de se justificar a resposta com base nas leis de Newton.

Após a discussão em grupos, o número de respostas corretas aumentou, passando de 0 para 3 (12,5 %). A figura 61 abaixo mostra uma delas.

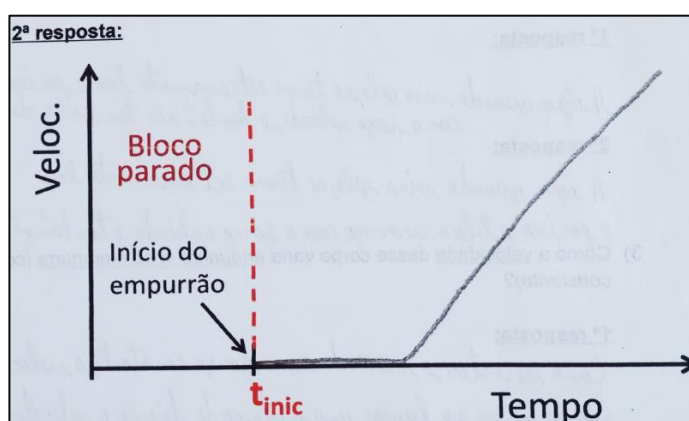
Figura 61 - Gráfico correto esboçado pelo aluno 10 em resposta à quarta questão da folha de atividades, após as discussões em grupo



Fonte: Própria autora.

Além disso, com as discussões, surgiu uma resposta diferente, proposta por 3 (12,5%) estudantes e exemplificada na figura 62 abaixo. Retrata-se ali que haveria um “atraso” na ação da força — o seu efeito sobre o corpo só se manifestaria após algum tempo. Esta concepção, discutida no capítulo 2, é resumida na tabela 2 como: “*Acúmulo gradual ou atrasado do impetus*”. Vale destacar que o comportamento proposto para velocidade após esse tempo é aquele previsto pela segunda lei de Newton.

Figura 62 - Gráfico esboçado pelo aluno 16 em resposta à quarta questão da folha e atividades após as discussões



Fonte: Própria autora

Apesar desses avanços, a maior parte dos estudantes manteve, após a discussão em grupo, as respostas dadas antes. De fato, 13 (54,2%) deles indicaram que a velocidade aumentaria a uma taxa constante, até atingir um valor final, como se vê na parte a da figura 59

Antes da discussão, 75% haviam respondido dessa forma. O número de discentes que propôs que a velocidade aumentaria assintoticamente para o valor terminal (parte b da figura 59) diminuiu de 3 (12,5 %) para 1 (4,2 %). Aquele estudante que esboçara um comportamento oscilatório para a velocidade manteve a sua resposta (4,2%). O número de discentes que não respondeu à questão subiu de 1 para 3 (12,5%).

A pergunta 5

De acordo com a segunda lei de Newton, uma força menor resulta em uma aceleração menor, ou seja, em uma variação mais lenta da velocidade. A velocidade atingida pelo corpo depende, tanto da sua aceleração, como também do tempo pela qual a força atua sobre ele. Assim, não há como responder à quinta questão da folha de atividades sobre a segunda lei de Newton (propositadamente imprecisa), com as informações dadas (veja o enunciado da questão no apêndice B)

As respostas dadas pelos discentes comprovam a prevalência da concepção de que a força resultante sobre um corpo determina a sua velocidade (ou velocidade terminal), sendo ela menor, com uma força menor. Das 24 respostas obtidas, 20 (83,3%) foram afirmativas e 4 (16,7%) foram negativas. Dentre elas, um primeiro grupo com 14 alunos (58,3%) mencionou explicitamente essa crença, como se verifica nos exemplos abaixo.

- **ALUNO 9:** “*Sim. Pois a velocidade depende da força, conseqüentemente, quando a força for menor a velocidade vai ser menor.”*
- **ALUNO 14:** “*Sim, quanto menor a força que atua sobre um corpo menor velocidade ele ganha.”*
- **ALUNO 22:** “*Sim, a força resultante o leva a sua devida velocidade ou seja velocidade menor.”*
- **ALUNO 1:** “*Sim. A velocidade depende da força.”*
- **ALUNO 8:** “*Sim. Pois a velocidade de um corpo depende da força que eu exercer sobre este corpo.”*

Um grupo de 2 estudantes (8,3%) respondeu de forma semelhante (vide abaixo), porém não mencionou explicitamente o princípio aristotélico da “*velocidade proporcional à força*”. É possível que eles tenham pensado dessa maneira. No entanto, como foi apontado na análise da questão 4, depois da discussão em grupo alguns discentes previram corretamente que a força resultante constante levaria o corpo a uma aceleração também constante. Assim, é plausível que esses estudantes agora tenham usado essa ideia newtoniana, porém teriam

concluído que a velocidade seria menor, por terem, talvez, assumido que a força menor seria aplicada pelo mesmo tempo que a maior.

- **ALUNO 21:** “*Sim, pois se tiver uma força menor, menor será a velocidade.*”
- **ALUNO 6:** “*Sim, pois se ele for empurrado por uma força de 0,1 ele não vai ter a mesma velocidade se estivesse sendo empurrado por uma força de 1 N, então ela será menor.*”

Um único estudante (4,2%) mencionou correta e explicitamente que a força menor resulta em aceleração menor. Entretanto, ele concluiu que essa aceleração menor resultaria em uma velocidade menor. Provavelmente, ele assumiu que a força menor seria aplicada pelo mesmo tempo que a maior. Segue a sua resposta:

- **ALUNO 24:** “*Sim, pois se a força for menor a aceleração vai ser menor, fazendo a velocidade ser menor.*”

Um grupo, constituído por dois discentes (8,3%), mencionou que a força menor implicaria em uma velocidade constante (no lugar de aceleração menor). Apesar de não terem apresentado maiores justificativas, é possível que essa resposta se deva também à influência da discussão da questão anterior. Como destacado acima, nessa questão alguns estudantes chegaram à relação correta entre força e aceleração. Entretanto, sabe-se que frequentemente há uma confusão entre velocidade e aceleração, conforme mencionado no capítulo 3 (tabela 2). Segue abaixo a resposta de ambos os estudantes.

- **ALUNOS 5 e 20:** “*Não, pois o planador moverá em uma velocidade constante.*”

Outro estudante (4,2%) mencionou uma “velocidade aplicada”. Não é totalmente claro, porém é possível que ele, como maioria dos seus colegas, pense que a força determina a velocidade. Segue a sua resposta.

- **ALUNO 16:** “*Sim, o planador irá se mover de acordo com a velocidade aplicada.*”

Houve ainda três respostas (12,5%), duas afirmativas e uma negativa, que parecem atribuir ao fluxo de ar no trilho a capacidade de impulsionar o planador:

- **ALUNO 18:** “*Não, a força pode ser menor mais se tiver grande quantidade de ar o objeto desliza com mais facilidade.*”
- **ALUNO 7:** “*Sim, pois com uma velocidade menor acontece que o planador ira com menos velocidade, pois o ar é menor.*”
- **ALUNO 15:** “*Sim, pois não tem ar saindo para o empurrar.*”

Completando a coleção, houve uma resposta (4,2%) incompreensível:

- **ALUNO 8:** “*Não, não há força suficiente.*”

Após as discussões, seis das respostas (25,0%) se alinharam à segunda lei de Newton, evidenciando mais uma vez a eficácia das discussões entre colegas. A seguir, algumas dessas respostas são apresentadas. Note-se que esses estudantes (assim como os demais do grupo) aponta a relação correta entre força resultante e aceleração, porém não a mencionam que isso é a segunda lei de Newton.

- **ALUNO 9:** “*Não, a força tem relação com a aceleração, não com a velocidade.*”
- **ALUNO 14:** “*Sim, quanto menor força exercida sobre um corpo menor aceleração ele ganha*”

Ainda que algumas respostas tenham se alinhado à concepção correta, uma parcela considerável de estudantes continuou a apresentar equívocos, evidenciando, mais uma vez, a resistência das concepções alternativas acerca do movimento (Pacca, 2018; Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992). Entre essas respostas, 11 discentes (45,8%) persistem com a crença de que uma força resultante que atua sobre um corpo determina a sua velocidade. Ademais, um estudante (4,2%) sugeriu que o fluxo de ar no trilho tem a função de frear ou empurrar o planador; quatro estudantes (16,7%) não responderam a pergunta; um (4,2%) forneceu uma resposta ininteligível e uma (4,2%) das respostas não pode ser analisada devido à caligrafia ilegível do discente.

A pergunta 6:

Como mencionado na subseção 5.3.1 e na seção 5.2, a sexta questão da folha de atividades busca, entre outros propósitos, conduzir os estudantes a perceber que a segunda lei de Newton antecipa os resultados experimentais e proporcionar a prática da representação matemática do movimento.

A tabela 6, abaixo, exhibe as respostas dessa questão. A primeira coluna mostra as forças de tração aplicadas ao planador em cada movimento; a segunda, as acelerações médias calculadas a partir do gráfico (item a); a terceira, as acelerações obtidas com base na segunda lei de Newton (item b); e a quarta, o erro percentual absoluto entre esses valores:

Tabela 6 – Acelerações do planador para cada movimento, calculadas a partir do gráfico de velocidade em função do tempo e pela segunda lei de Newton

Força (N)	a_{med} (m/s²)	a_{prev} (m/s²)	Desvio (%)
0,269	0,858±0,006	0,897±0,004	4,5
0,228	0,728±0,005	0,760±0,004	4,4
0,184	0,588±0,005	0,614±0,004	4,4

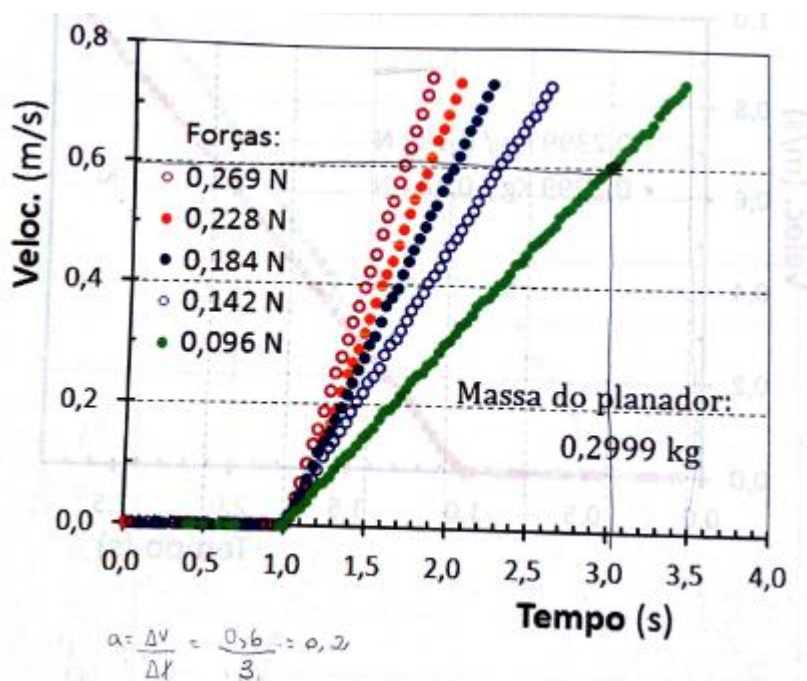
0,142	0,451±0,004	0,473±0,004	4,9
0,096	0,301±0,004	0,320±0,004	6,3

Fonte: Própria autora.

Legenda: A primeira coluna mostra as forças de tração; a segunda, as acelerações médias obtidas do gráfico; a terceira, as acelerações previstas pela segunda lei de Newton e a quarta o erro percentual absoluto.

Em relação ao cálculo da aceleração a partir do gráfico, todas as respostas estavam incorretas. O erro predominante, presente em 22 (91,7%) delas, consistiu em determinar incorretamente a variação da velocidade e o intervalo de tempo correspondente. Entre essas respostas, 8 também apresentaram erro na unidade de medida da aceleração, ou simplesmente a omitiram. A figura 63, apresentada a seguir, mostra uma resposta que reúne ambos os problemas. Esses resultados revelam dificuldades dos estudantes na interpretação de gráficos, o que reforça a importância de atividades que desenvolvam essa habilidade. Mostram, ainda, a importância de se enfatizar, em sala de aula, o uso correto das unidades de medidas das grandezas físicas. As 2 (8,3%) respostas restantes estavam confusas.

Figura 63 - Exemplo de cálculo incorreto da aceleração a partir do gráfico, realizado por um estudante, com ausência da unidade de medida da aceleração e determinação incorreta da variação da velocidade e do intervalo de tempo



Fonte: Própria autora.

Quanto ao cálculo da aceleração a partir da segunda lei de Newton, 6 respostas (25,0%) estavam corretas, uma das quais é apresentada na figura 64, a seguir.

Figura 64 – Exemplo de cálculo correto da aceleração a partir da segunda lei de Newton, efetuado por um estudante, para uma força de 0,096N e uma massa de 0,2999kg

The image shows a student's handwritten work for calculating acceleration. It starts with the title 'b. Da segunda lei de Newton.' followed by the formula $F = m \cdot a$. The next line shows the substitution of values: $0,096 = 0,2999 \cdot a$. The final line shows the calculation of acceleration: $a = \frac{0,096}{0,2999}$ and the result $a = 0,3201067 \text{ m/s}^2$.

Fonte: Própria autora.

Das 18 respostas restantes (75,0%), 4 estavam em branco (16,7%) e 14 incorretas (58,3%). Nestas últimas, os problemas consistiam na indicação incorreta ou ausência da unidade de medida da aceleração (6 respostas), no uso de dados incorretos para força e massa (4) e no erro apenas no valor numérico final da aceleração. Além disso, 3 estavam confusas.

A pergunta 7

Conforme citado na subseção 5.3.1, com a questão de número 7 pretende-se que os próprios discentes percebam que a segunda lei de Newton também fornece a aceleração correta do planador quando a sua massa é alterada, mas a força resultante sobre ele permanece constante.

As respostas para essa questão estão contidas na tabela 7, apresentada a seguir. Na tabela, a primeira coluna indica as diferentes massas atribuídas ao planador; a segunda mostra as acelerações médias calculadas com base no gráfico (item a); a terceira coluna exibe as acelerações previstas pela segunda lei de Newton (item b) e a quarta contém os valores do erro percentual absoluto.

Tabela 7 — Acelerações do planador para as diferentes massas, calculadas do gráfico de velocidade em função do tempo e da segunda lei de Newton.

M_{plana} (kg)	a_{med} (m/s²)	a_{prev} (m/s²)	Desvio
0,2399	0,723±0,005	0,759±0,005	5,0
0,2999	0,586±0,006	0,614±0,004	4,8

Fonte: Própria autora.

Legenda: A primeira coluna apresenta as massas do planador; a segunda, as acelerações médias obtidas do gráfico; a terceira, as acelerações previstas pela segunda lei de Newton; a quarta, o erro percentual absoluto.

A análise das respostas dos discentes à alternativa (a) revelou que 5 deles (20,8%) não a responderam, enquanto 19 (79,2%) a erraram. Assim como observado na alternativa (a) da sexta questão, estes estudantes não calcularam, de maneira correta, a variação da velocidade e o intervalo de tempo, dos quais 8 também negligenciaram ou erraram a unidade de medida da aceleração.

No que diz respeito à alternativa (b), 7 estudantes (29,2%) responderam corretamente. A figura 65, a seguir, ilustra um exemplo dessas respostas. Apenas 1 estudante (4,2%) deixou o item em branco (4,2%) e 16 (66,7%) responderam incorretamente. Os equívocos destes incluem a ausência da unidade de medida da aceleração, emprego de dados incorretos para a força ou massa, cálculo da força em vez da aceleração e erro no procedimento de divisão, com divisão de massa por força.

Figura 65 - Exemplo de resposta correta para cálculo da aceleração a partir da segunda lei de Newton

Vermelha b. Da segunda lei de Newton. Verde

$$f = m \cdot a$$

$$0,184 \text{ N} = 0,2999 \text{ Kg} \cdot a$$

$$a = \frac{0,184 \text{ N}}{0,2999 \text{ Kg}}$$

$$a = 0,6135398459 \text{ m/s}^2$$

$$0,184 \text{ N} = 0,2999 \text{ Kg} \cdot a$$

$$a = \frac{0,184 \text{ N}}{0,2999 \text{ Kg}}$$

$$a = 0,7586494573 \text{ m/s}^2$$

3

Fonte: Própria autora

A pergunta 8

Conforme mencionado na seção 5.3.1, a oitava questão também visa estimular o estudante a recordar e a explicitar suas concepções sobre força e movimento.

Com base nos resultados do FCI no CAP- COLUNI (ver subseção 5.1.2) e em estudos presentes na literatura científica, é sabido que há entre muitos discentes a crença de que quando um corpo se move em um sentido, existe uma força agindo nesse mesmo sentido. Como se verá adiante, a maioria das respostas dos alunos sugere essa concepção.

De acordo com a segunda lei de Newton, o que deve estar no mesmo sentido da força resultante é a aceleração, e não necessariamente o movimento. Portanto, é possível que um corpo se mova em um sentido enquanto uma força atua em sentido oposto. Nesse caso, a velocidade do corpo diminui gradualmente até ele parar. Se a força continuar agindo, o corpo começará a se mover no sentido da força, e sua velocidade aumentará com o tempo.

Todas as respostas individuais estavam incorretas e, novamente, desprovidas de base científica. A maioria dos discentes (16 — 66,7%) respondeu negativamente à questão, alguns (7 — 29,2%) responderam que “depende” e somente 1 (4,2%) respondeu afirmativamente. Dos 16 discentes que afirmaram que não é possível um corpo se mover em um sentido enquanto atua sobre ele uma força em sentido oposto, 11 apresentaram respostas que sugerem a crença de que o movimento ocorre no mesmo sentido da força resultante. Seguem algumas dessas respostas:

- **ALUNO 12:** *“Não, o corpo movimentar para o lado da força aplicada”*
- **ALUNO 11:** *“Não. Pois se eu aplicar uma força para a direita no objeto que está indo para esquerda ele vai vim para a direita por causa da minha força.”*

Em relação aos demais discentes deste grupo, 4 apresentaram justificativas sem detalhes suficientes para serem claramente compreendidas e 1 indica a crença de que quando a força resultante que atua em um corpo for nula, o corpo estará necessariamente em repouso, desconsiderando a possibilidade de movimento retilíneo uniforme, conforme estabelece a segunda lei de Newton.

Um único estudante respondeu afirmativamente à questão, embora não tenha apresentado a justificativa correta. Segue, abaixo, a resposta desse discente:

- **ALUNO 16:** *“Sim, se o corpo tiver uma força maior do que a atuada sobre ele, ele irá se mover no sentido oposto, se a força dos dois lados for igual, o corpo permanecerá parado.”*

Em relação aos estudantes que responderam “depende”, todos analisam a situação considerando duas (ou mais forças) agindo sobre o corpo, com o movimento ocorrendo no sentido da força “maior”

- **ALUNO 17:** *“Depende do valor, se os valores forem iguais o corpo ficará parado, mas se algum sentido for maior que o outro o lado com a força maior ira em seu sentido.”*
- **ALUNO 19:** *“Depende porque quem está empurrando mais forte vai para o lado.”*
- **ALUNO 5 e 13:** *“Depende de quantas forças cada lado está fazendo.”*

5.4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A PRIMEIRA LEI DE NEWTON

Vale lembrar que esta intervenção pedagógica tem a anterior como pré-requisito. De

fato, ela usa ideias e discussões que foram desenvolvidas naquela sequência didática, sobretudo o fato de que uma força resultante constante exercida sobre um corpo produz nele uma aceleração constante. Ademais, esta exposição da sequência sobre a primeira lei de Newton é mais sintética uma vez a explicação os seus métodos principais são os mesmos discutido no contexto da sequência sobre a segunda lei.

5.4.1 Sequência Didática Sobre a Primeira Lei de Newton — Roteiro e sua Aplicação

Cena 1 - Recepção (Intervenção 1ª lei de Newton)

Roteiro:

- Exatamente como na intervenção anterior, enquanto recepciona os estudantes o professor mantém projetada uma imagem singular (figura 66) que remete às questões físicas que serão tratadas.

Figura 66 – Slide 1 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

Explicação:

- O objetivo é criar um clima de expectativa e curiosidade, que favoreça o engajamento dos discentes nas atividades que se seguirão.

Observações:

- Os olhares interrogativos de vários estudantes indicaram que o objetivo acima provavelmente foi alcançado.

Cena 2 – Explicação da atividade e promoção de foco (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- Com os estudantes em seus lugares, o professor explica que eles farão uma atividade semelhante à anterior (intervenção da segunda lei) e irão discutir ideias sobre o movimento e examiná-las criticamente, como fazem os cientistas.
- Distribuindo as folhas de atividades (apêndice C.), o professor destaca que ao longo da aula os discentes irão registrar nelas o seu trabalho e deverão entregá-las ao final.

Explicação:

- Como foi pormenorizado na intervenção anterior, as explicações do professor e a distribuição das folhas de atividades tem o objetivo de criar a expectativa de que o discente participará de forma ativa, de que ele não será um ouvinte passivo. A expectativa de atividade como um instrumento poderoso para criar foco e engajamento é discutida na subseção 3.5.3.

Observações:

- Os estudantes examinaram as folhas de atividades e prontamente colocaram nelas os seus dados (nome e número de matrícula).

Cena 3 – Como o bloco se move? – mundo real (1ª lei de Newton)**Roteiro:**

- Projetando a imagem do slide da figura 67, o professor informa que, como na aula anterior (intervenção sobre a segunda lei), quer tratar do movimento de um bloco de aço sobre uma superfície de gelo. Porém, ele esclarece que agora tem uma pergunta diferente. Projetando sequencialmente os textos do slide, ele explica a situação física (pista lisa, plana etc.) e lê a questão de número 1. Ele enfatiza que a sua pergunta é sobre o movimento do bloco depois que ele perde contato com a mão que o havia empurrado. Após uma pausa breve para reflexão, o instrutor acrescenta que a sua pergunta se refere ao “mundo real” – *“O que você acha que irá observar se de fato empurrar o bloco no gelo?”*.

Figura 67 - Slide 2 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

Força e movimento

Você empurra um bloco de aço muito liso sobre uma superfície de gelo também lisa e plana.

MUNDO REAL !



1) Como você acha que o bloco se move a partir do momento que ele desencosta da sua mão?

Fonte: Própria autora.

Explicação:

- A questão é propositadamente vaga – comporta resposta que enderecem a trajetória do corpo, a sua velocidade, etc. O objetivo é fazer o aluno se concentrar na atividade, se habituar à sua dinâmica e ainda introduzir a situação-problema da sequência didática.
- A imagem, além de atrair atenção, sintetiza a situação que se propõe examinar, possivelmente aliviando a demanda sobre a memória de trabalho do estudante e, assim, reduzindo a carga cognitiva sobre ele (vide seção anterior e a subseção 3.5.2)
- A ênfase sobre o aspecto concreto da questão é importante para o letramento científico, também almejado nesta intervenção didática. Ela busca marcar o fato que o objeto das ciências naturais é o universo físico.

Observações:


- Como na intervenção anterior, a imagem e a questão pareceram ter gerado interesse.
- Novamente, houve uma pergunta sobre a ausência, ou não, de uma força de atrito. Mais uma vez o professor não teorizou: “*Quero saber o que você acha que acontecerá se realmente empurrar o bloco no gelo. Responda como puder, considerando aquilo que julgar importante!*” Talvez a repetição da pergunta sobre o atrito seja reflexo de um condicionamento às questões usuais dos textos e provas tradicionais nos quais não há campo ou incentivo para que o aprendiz faça hipóteses.

Cena 4 – Como varia a velocidade do bloco? (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- Com o slide da figura seguinte, o docente faz a pergunta especificamente sobre a velocidade e volta a enfatizar que ela é sobre o movimento do bloco “a partir do momento em ele desencosta com a sua mão”.
- Seguem-se os já explicados momentos de reflexão individual, resposta individual na folha de atividades, discussão em grupo e resposta final. Como antes, é possível incluir o compartilhamento das respostas de voluntários e uma breve discussão com a classe inteira.

Figura 68 - Slide 3 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

<u>Força e movimento</u>	
<p><i>Você empurra um bloco de aço muito liso sobre uma superfície de gelo também lisa e plana.</i></p>	
<p>Outra pergunta:</p>	
<p>2) Como <u>a velocidade</u> desse corpo varia a partir do momento que ele desencosta da sua mão?</p>	

Fonte: Própria autora.

- Encerradas as discussões, o professor repete a pergunta anterior, agora na forma de múltipla escolha, como se mostra na figura 69.

Figura 69 – Slide 4 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

MÚLTIPLA ESCOLHA

3) Como a velocidade desse corpo varia a partir do momento que ele sai da sua mão?

a) A velocidade diminui lentamente o tempo todo até o corpo parar.

b) A velocidade não muda.

c) A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor constante.

d) A velocidade aumenta gradualmente, atinge um valor constante e o mantém por algum tempo e em seguida diminui até o corpo parar.

e) A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor máximo e, então, diminui até o corpo parar.

f) A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor máximo e, então, diminui até atingir um valor constante e não-nulo.

g) Nenhuma das alternativas acima.

Fonte: Própria autora

Explicação:

- O principal propósito da questão 2, e das próximas duas, é estimular o estudante a despertar e explicitar as suas concepções sobre o movimento, para que na sequência elas possam ser confrontadas com as visões de colegas, com os fatos experimentais e com a mecânica newtoniana.
- A descrição verbal do movimento que se espera em resposta à questão 2 será complementada adiante pela descrição gráfica solicitada na questão 4. O objetivo é praticar diferentes representações do movimento.
- Acreditamos que é importante que todos os alunos sejam confrontados com as respostas mais frequentes. Entretanto, em grupo pequeno, é provável que surjam apenas algumas das variantes. A proposição da questão 3 (figura 82 acima) visa apresentar a todos os discentes as respostas que frequentemente aparecem neste contexto.

Observações:

- Os alunos pareceram ter entendido com clareza que a questão presente é diferente daquela da sequência anterior.
- Como se verá em detalhe na próxima subseção, apenas uma minoria dos estudantes respondeu corretamente às questões 2 e 3. Rigorosamente, a melhor resposta é que velocidade irá diminuir contínua e lentamente. No entanto, afirmar que a velocidade se manterá constante é obviamente uma boa aproximação. Contudo, 70% dos estudantes

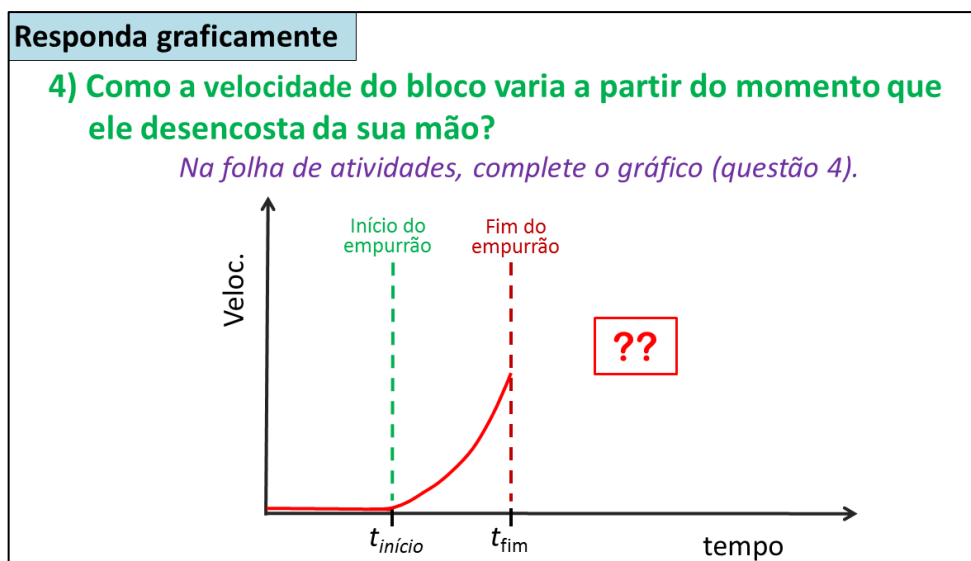
acreditavam que a velocidade iria aumentar por algum tempo (opção d na questão 3). Como se esperava, uma parte expressiva das respostas “a questão 2 revela concepções alternativas conhecidas, relacionadas com a teoria do impetus. Menciona-se, por exemplo, que primeiro a velocidade aumenta, porém depois passa a diminuir, porque, nas palavras dos alunos: “*A força exercida sobre o bloco vai diminuindo com o tempo*”. Ou seja, acredita-se que a força exercida pela mão é transmitida ao bloco, em clara conexão com a teoria do impetus - a pessoa que empurra o bloco transfere para ele a força (o impetus) que mantém o movimento quando já não há contato da pessoa com o corpo. Essa resposta refere-se ao consumo (dissipação) do ímpeto, que levaria à diminuição da velocidade. Em outras variantes, afirma-se que a velocidade aumentaria até atingir um valor constante, em clara conexão com a manutenção do ímpeto. Nenhuma resposta invocou as leis de Newton como suporte.

Cena 5 – Como varia a velocidade do bloco? – gráfico $v \times t$ (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- Usando o slide na figura 70, o professor solicita uma resposta gráfica para a questão 4. Ele informa que nas folhas de atividades há um gráfico como aquele no slide. O docente explica, mostrando o gráfico projetado, que o bloco estava parado sobre o gelo entre os tempos 0 e $t_{\text{início}}$ e começou, então, a ser empurrado por uma pessoa, de modo que a sua velocidade aumentou progressivamente até o tempo t_{fim} . A partir desse momento, cessou o empurrão, o bloco desencostou da mão e prosseguiu o seu movimento. O professor pergunta: “*Como varia a velocidade do bloco a partir do tempo t_{fim} , ou seja, a partir do momento no qual a pessoa perde o contato com o bloco? Por favor, responda na folha de atividades, completando o gráfico.*”
- Seguem-se as respostas individuais, a discussão em pequenos grupos e as respostas finais. A primeira e a segunda resposta são registradas nas folhas de atividade.

Figura 70 – Slide 5 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

**Explicação:**

- Além de prover a prática da descrição gráfica do movimento, a questão 4 permite que os estudantes expressem as suas concepções de uma forma que pode, e será adiante, confrontada com dados experimentais e com a concepção newtoniana.
- Esta cena é dos pontos centrais dessa intervenção didática. Aqui, é especialmente importante que se invista tempo nas discussões em grupo.

Observações:

- Coerentemente, com as respostas dadas nas questões anteriores, um número significativo de estudantes expressou graficamente a expectativa de que a velocidade do bloco aumentaria por algum tempo, a partir do momento no qual ele perde contato com a mão.
- O número de respostas corretas aumentou significativamente depois da discussão em grupos.

Cena 6 – Revisão do método científico (1ª lei de Newton)**Roteiro:**

- O professor destaca que foram apresentadas muitas ideias diferentes, mutuamente excludentes, sobre como seria o movimento do bloco.
- Fazendo referência à intervenção anterior (sequência didática sobre a segunda lei), ele

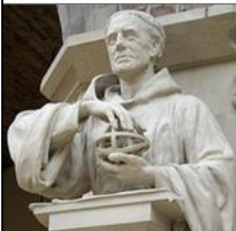
propõe que novamente os estudantes busquem a resposta correta usando o método científico. Na sequência, ele utiliza o slide da figura 71 para rever a sua essência.

Figura 71 – Slide 6 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton


O método científico

Método para distinguir ideias corretas e incorretas, que consiste em testá-las para verificar quais funcionam.

Teste exaustivo e criterioso



Roger Bacon
(1214-1294)



Galileu Galilei
(1564-1642)

Fonte: Própria autora.

- Tendo enfatizado o caráter criterioso e cuidadoso do teste científico, o docente usa um exemplo para ilustrar a sua importância. Projetando o slide na figura II, o professor narra a saga de “der Kluge Hans” (Hans esperto, em alemão), como se segue.

Figura 72 – Slide 7 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

O método científico

Fenômeno extraordinário:
Hans (1895 – 1916), o cavalo que sabia aritmética



Fonte: Própria autora.

- No início do século 20, o cavalo Hans, retratado acima, atraiu atenção mundial, por

aparentemente ser capaz de realizar operações aritméticas, identificar um pintor, quando mostrado um quadro, dentre outras habilidades extraordinárias. Diversões sí-tios da web contam a sua história, porém a síntese que se segue é baseada no artigo de Samhita e Gross (2013). O cavalo foi treinado por quatro anos pelo seu dono, o professor de matemática Wilhelm von Osten. Em exposições públicas, Hans podia, com acurácia, contar quantas pessoas havia na audiência e efetuar operações aritméticas. O animal respondia batendo com os cascos para indicar um número. Quando solicitado, por exemplo, para efetuar a soma $2+5$, ele batia sete vezes com os cascos. Ele respon-dia a perguntas de outros tipos da mesma forma – usando uma associação de números e letras ($A \rightarrow 1$, $B \rightarrow 2$, $C \rightarrow 3$, etc.) apresentada em um quadro colocado à sua frente. Naturalmente, pensou-se tratar-se de uma fraude e considerou-se como ela poderia ser perpetrada. O treinador poderia, por exemplo, condicionar o animal a dar certa se-quência de respostas para uma exibição e nela apresentar perguntas cujas respostas se adequassem a elas. Alternativamente, ele poderia comandar as respostas do cavalo por meio de gestos ou outros sinais discretos para o animal. No entanto, verificou-se que Hans respondia corretamente as questões de pessoas apontadas aleatoriamente, mesmo que von Osten não estivesse presente. O fato é que em 1904 o Comitê Alemão de Educação apontou uma comissão de cientistas para investigar se o fenômeno era genu-íno. Após um ano e meio de estudo, ela concluiu que não havia engodo. A maioria da comunidade científica, assim como o público leigo, se convenceu que Hans tinha, de fato, habilidades humanas. Por fim, em 1907 o fenômeno foi elucidado por uma inves-tigação meticulosa conduzida pelo biólogo Oscar Pfungst. Ele descobriu que Hans não conseguia responder de forma consistentemente correta, se a pessoa que fizesse a per-gunta não conhecesse a resposta. Além disso, verificou que Hans também não conse-guia responder qualquer pergunta, se fosse colocado um painel que o impedisse de ver quem fazia as perguntas. Por fim, concluiu-se que Hans era um exímio observador dos seres dos humanos – ele havia aprendido a ler sinais mínimos nas feições do seu mes-tre de que havia batido, ou estava próximo de bater os cascos, o suficiente para rece-ber a sua recompensa. O próprio Pfungst descobriu que não conseguia evitar os sinais que conduzissem o cavalo à resposta correta, exceto quando não a conhecia ou tinha à sua frente o painel que blindava a visão do cavalo. Em suma, há inúmeras sutilezas e possibilidades de engano quando investigamos o universo à nossa volta. Dessa forma, a cautela e o rigor do teste científico são imperativos para obtermos respostas confiá-

veis.

- Fechando o assunto, o docente propõe que se volte a examinar a questão do movimento do bloco, exercitando o rigor científico e colocando em xeque as próprias convicções.

Explicação:

- Como o letramento é um objetivo importante, parece-nos relevante revisitá-lo, como se fez aqui.
- Perceba-se que, mais uma vez, explorou-se o “poder das histórias” (subseção 3.5.4).

Observações:

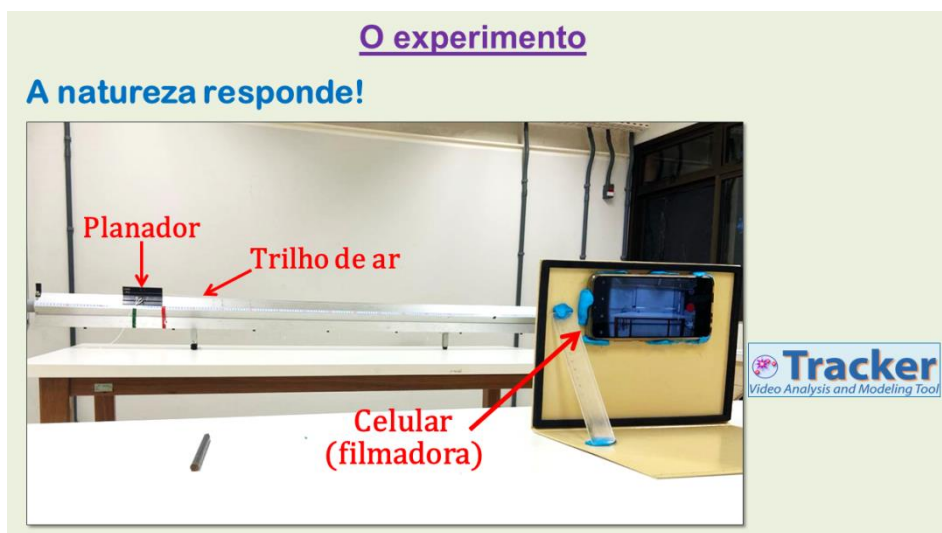
- Durante a exposição da história do cavalo Hans, fez-se silêncio absoluto e não faltaram olhares de expectativa. Não restou dúvida para a autora de que a história capturara a atenção dos presentes.

Cena 7 – O experimento (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor informa que para investigar o movimento em questão foi realizado um experimento semelhante àquele tratado na aula anterior, usando o mesmo equipamento e técnicas. Ele sintetiza as explicações na “Cena 8” da intervenção sobre a segunda lei de Newton. Como naquele momento, neste ponto é importante enfatizar a “equivalência” entre a pista de gelo lisa e plana com o trilho com grande fluxo de ar. O instrutor explica o novo experimento da forma que se segue.
- Com o slide da figura 73, rememora o aparato experimental para fazer a filmagem do movimento e a sua análise posterior com o programa Tracker.

Figura 73 - Slide 8 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- No vídeo no slide da figura 74, a autora explica que o movimento do planador foi filmado com diferentes fluxos de ar. Neles, o planador é inicialmente mantido parado. Quando é liberado, o planador é puxado por uma massa em queda, conectada a ele por uma leve corda de algodão, como no experimento da outra aula. Depois de uma queda curta (~10cm), a massa atinge o solo e o planador prossegue o seu movimento, de forma equivalente ao bloco na pista de gelo, que é empurrado por alguém que posteriormente perde contato com o objeto. O movimento do planador sendo puxado começa com a sua frente na marca verde no trilho e termina ela na marca vermelha. Daqui em diante, o planador não é mais puxado, pois a massa que estava em queda atingiu o chão.

Figura 74 - Slide 9 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- No vídeo contido no slide da figura 75. A autora mostra e explica com mais detalhes o mecanismo de puxamento do planador pela massa em queda.

Figura 75 - Slide 10 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



O experimento – puxamento

Fonte: Própria autora.

- O professor pergunta se há dúvidas sobre como o experimento funciona e se ficou clara a conexão entre ele e a questões sobre o movimento do bloco no gelo.
- O vídeo do slide na figura 76 contém uma filmagem do movimento do planador a partir do repouso.

Figura 76 – Slide 11 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



O experimento – movimento

Fonte: Própria autora.

Explicação:

- É crucial que os estudantes entendam o experimento, em particular a conexão dele com a situação-problema do bloco de aço movendo-se sobre uma superfície de gelo. É recomendável perguntar se há dúvidas sobre isto.

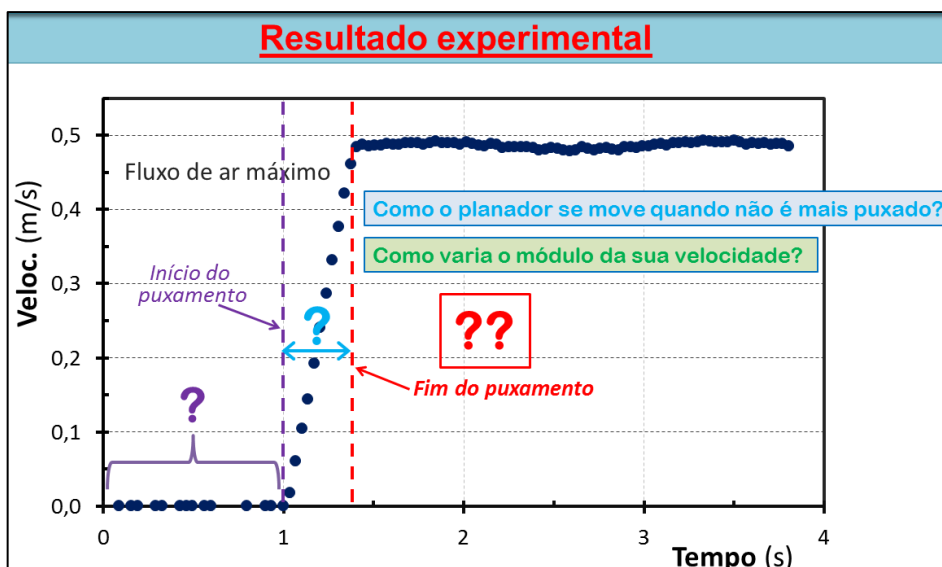
Observações:

- Não houve perguntas sobre o experimento e o seu papel na elucidação das perguntas anteriores sobre o movimento do bloco no gelo. Aparentemente as explicações foram suficientes.

Cena 8 – Resultado: como a velocidade varia (1ª lei de Newton)**Roteiro:**

- O professor sintetiza que o movimento do planador com fluxo de ar máximo no trilho foi filmado e analisado com programa Tracker para se obter o gráfico de velocidade x tempo. Ele solicita que os estudantes revejam a sua previsão e passa a apresentar os resultados experimentais utilizando o gráfico na figura 77. Primeiramente o instrutor guia a interpretação das três regiões distintas. Ele ajuda os estudantes a reconhecerem a região da esquerda, na qual o planador estava em repouso, a região central, onde o corpo era puxado por uma força constante e, por fim, a região direita na qual não havia força puxando o planador.

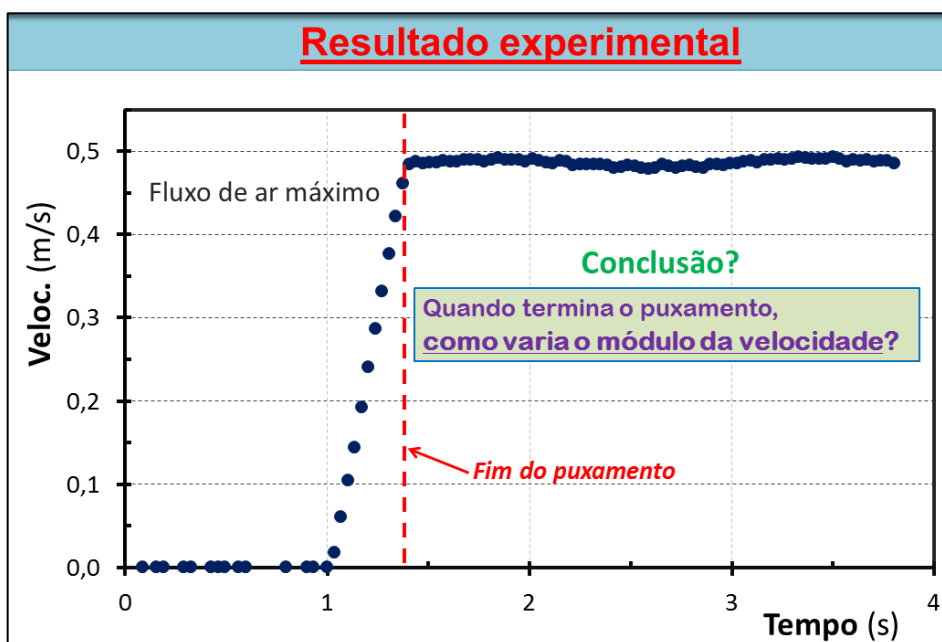
Figura 77 - Slide 12 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- O docente lembrar que a região da direita é a de interesse para responder as questões anteriores sobre o movimento do bloco de aço no gelo quando ele não é mais empurrado (quando “desencosta da sua mão”).
- Feita essa observação, o professor usa o gráfico da figura que se para perguntar o que vê na região onde não há força puxando o planador.

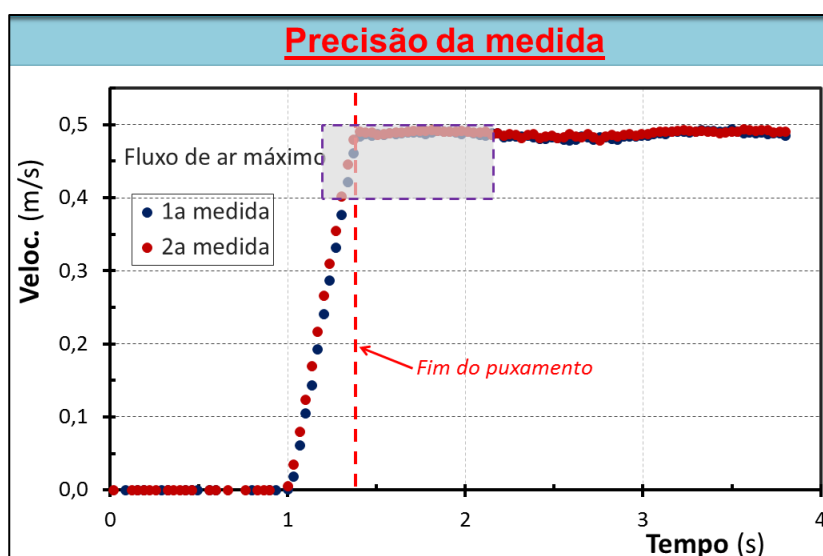
Figura 78 – Slide 13 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

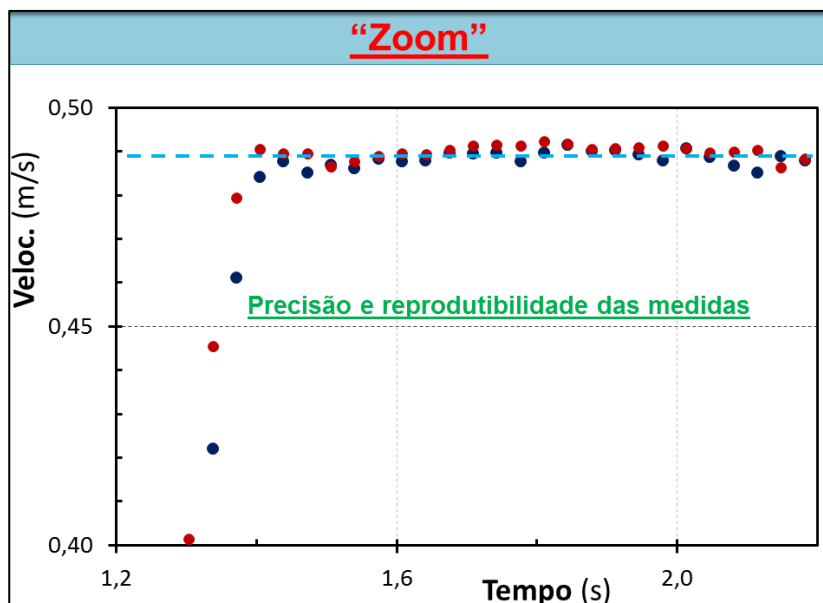


Fonte: Própria autora.

- Não são necessárias elaborações adicionais para que a maioria dos estudantes conclua que a partir do momento que cessa o puxamento a velocidade do planador se mantém constante. Entretanto, há neste ponto a oportunidade de se introduzir a questão da precisão limitadas das medições, caso se disponha de tempo. Segue a discussão.
- O professor expõe sobre a importância de se trabalhar com dados reprodutíveis. Ele pergunta o que se espera de repetições do experimento, nas mesmas condições? Obteremos exatamente os mesmos resultados? Por que não, ou por que sim?
- Em seguida, ele usa o gráfico do slide 14 na figura 79 para mostrar os resultados obtidos de duas repetições do experimento, até onde se pôde controlar, nas mesmas condições. A região destacada pelo retângulo tracejado no gráfico de cima é ampliada no gráfico inferior (“Zoom”). Como se vê, as velocidades obtidas nas duas medições diferem ligeiramente (diferença da ordem de 1%). A reta tracejada da azul é a média das duas medidas.

Figura 79 - Slides 14 e 15 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton





Fonte: Própria autora.

Explicação:

- Evidentemente, o objetivo maior aqui é preparar o terreno, criar o conflito cognitivo, para adiante trazer à tona a primeira lei de Newton. Entretanto, nesta seção o foco deve estar no experimento – na modelagem, nos resultados factuais e nos fatos observados – não nas teorias acerca deles.
- Temos aqui mais uma oportunidade de promover o *Tracker* como um instrumento simples e poderoso, acessível ao estudante, para as suas próprias investigações científicas.

Observações:

- Como já foi mencionado, a maioria dos estudantes não teve dificuldade para concluir que os resultados experimentais são compatíveis com a hipótese de que a velocidade do planador se mantém constante quando cessa o puxamento sobre ele. Os estudantes chegaram a esta conclusão, antes da discussão sobre a precisão finita das medições.

Cena 9 – A teoria (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor lembra que depois que cessa o puxamento, o planador continua movendo-se (com velocidade constante). Assim, resta um “mistério” – *se não há puxamento, quem mantém o corpo em movimento?* Projetando a parte superior do slide da figura

80, o docente lê a sua pergunta: “*Que força mantém o movimento do planador a partir do instante em que não é mais puxado?*”.

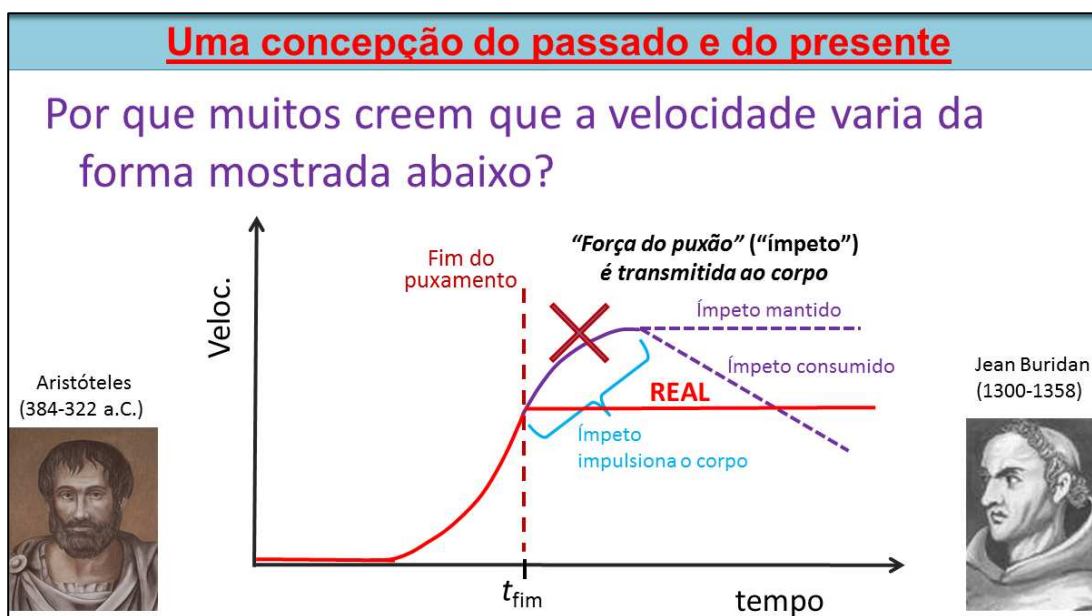
Figura 80 - Slide 16 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

<u>Mistério</u>
5) Que força mantém o movimento do planador a partir do instante em que não é mais puxado?
<p>1ª LEI DE NEWTON: <i>Quando a resultante das forças que atuam em um corpo for nula, ele se move com <u>velocidade constante</u>;</i></p> <p style="text-align: center;">↑ Nula, ou não.</p>

Fonte: Própria autora.

- Depois de reflexão individual, o professor dá a oportunidade para que alguns estudantes compartilhem com a classe as suas respostas. Em seguida, ele encaminha, o registro das respostas, a discussão em grupos e o registro final das respostas. Como se verá com mais detalhes nas “Observações” desta cena, uma pequena parte dos estudantes respondeu corretamente (nenhuma força), enquanto outros apontaram a “força da inércia”, “da mão”, a força gravitacional etc.
- Continuando, o instrutor pergunta o que diz a primeira lei de Newton. Dadas algumas respostas breves, ele projeta a parte inferior do slide na figura anterior (figura 93), sintetizando a lei. Ele conclui, com isso, que não é necessário haver uma resultante não nula para que um corpo esteja em movimento. Ele acrescenta que a hipótese de haver uma força resultante não-nula é incompatível com os fatos observados. Repetida essa afirmativa, o instrutor explica que, conforme aprendido na intervenção didática anterior (sobre a segunda lei), se houvesse uma força resultante não-nula, a velocidade do planador não ficaria constante, como foi observado há pouco. Conclusão: depois de cessado o puxamento, não atua sobre o planador uma força resultante significativa.
- Antevendo que a maioria dos estudantes tinha respondido que havia uma força mantendo o movimento do planador, o professor pergunta qual seria a origem dessa ideia, projetando e lendo a questão o slide da figura 81.

Figura 81 – Slide 17 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



- Ele explica que Aristóteles, observando o movimento, concluiu que o estado normal de um corpo seria o repouso. Para manter um corpo em movimento, teria que haver uma força sobre ele. Sem surpresa, muitos de nós hoje, por observar os mesmos fenômenos, chegamos às mesmas conclusões do arguto filósofo. Elas parecem, à primeira vista, muito razoáveis. De fato, os muitos objetos sobre uma mesa permanecem imóveis, mesmo que o tempo mude de sol para chuva, ou que um observador dance ou ameace esses objetos. Só quando alguém realiza um “esforço” sobre eles, isso é, exerça uma força, eles entram em movimento. Além disso, assim que a força cessa, o objeto volta ao repouso. Assim, pensou Aristóteles e, mesmo que informalmente, muitos de nós. Aprender sobre o movimento em um mundo com atrito onipresente é uma tarefa complicada. Para avançar nesse campo foram necessários séculos de debates intelectuais, avanços técnicos e, em especial, o desenvolvimento de uma nova ferramenta para fazer e responder perguntas – o método científico. Contudo, o próprio Aristóteles percebeu fragilidades na sua construção – vendo, por exemplo, o longo voo de uma flecha, afastada do arco e arqueiro, era inevitável perguntar que força a impeliria. Ele propôs que o ar à frente da flecha se moveria para trás dela e a empurraria. Não havia como fazer um experimento no vácuo e a ideia praticamente não encontrou resistência por quase 1.500 anos, até vir a ser questionada na Idade Média. A concepção aristotélica parecia forçada para os pensadores medievais, como Jean Buridan. Ele propôs que a

natureza se comportasse da seguinte forma – quando um agente exercia uma força sobre um corpo, ele transferia para esse corpo algo que se denominou “ímpeto” (um combustível, em termos atuais), que manteria o corpo em movimento, mesmo quando cessasse seu contato com o agente da força. A flecha começaria a cair à medida que esse combustível fosse consumido.

- Retomando a questão do bloco no gelo e do planador no trilho de ar, o professor projeta progressivamente as imagens abaixo da questão no slide anterior (figura 94). Ele explica que ocorreria, de acordo com a teoria do ímpeto: velocidade continuaria a aumentar quando cessasse o puxamento e depois se manteria constante, ou decairia, dependendo do ímpeto acumulado ser mantido ou dissipado. Contudo, observa o professor, não é o que o experimento revelou – *“você concluíram que a velocidade do planador se manteve constante quando o corpo não era mais puxado”*.

Explicação:

- Na cena 8, havia sido criado um conflito cognitivo – o resultado experimental, a constância da velocidade, estava em desacordo com a expectativa da maioria dos alunos de que ela deveria aumentar. Um dos objetivos principais da cena 9 é levar o estudante a racionalizar a sua concepção alternativa, na tentativa de levá-lo posteriormente a substituí-la pela concepção newtoniana. Trata-se também de um exercício no rigor do método científico. A questão 5 oferece ao discente um ponto de partida para que examine as suas ideias. Feita essa reflexão, lhe é oferecida uma alternativa que dá conta dos fatos – a primeira lei de Newton.
- A apresentação da teoria do ímpeto busca oferecer ao discente um novo exame da concepção alternativa e avançar no seu letramento científico. A resistência da concepção alternativa questão parece-nos justificar esta repetição.

Observações:

- Antes da discussão em grupos, cerca de 10% dos discentes responderam corretamente à questão 5, porém nenhum apresentou uma justificativa. A maioria indicou que haveria uma força mantendo o planador em movimento (força da inércia, força da energia cinética etc.). Novamente, a discussão produziu efeitos importantes – o número de respostas corretas dobrou, e desta feita foram acompanhadas de justificativas corretas, algumas com menções explícitas à primeira lei de Newton.

- A história sobre a teoria do ímpeto gerou interesse e pareceu ter sido compreendida.

Cena 10 – Conciliação com observações cotidianas (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor rememora que os experimentos discutidos, tanto nesta aula, quanto na anterior, foram realizados com aquele fluxo de ar máximo, que torna o trilho extremamente escorregadio (força de atrito muito pequena). Ele utiliza o vídeo para mostrar o efeito de fluxos de ar grande e pequeno no movimento do planador.

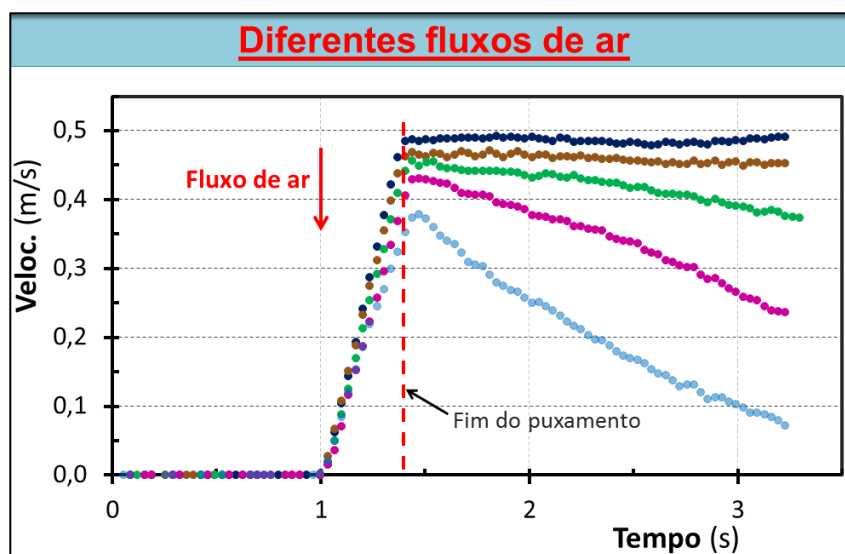
Figura 82 – Slide 18 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Prosseguindo, o docente explica que o movimento do planador com diferentes fluxos de ar foi filmado e analisado com o Tracker. Projetando o slide na figura 83, o professor mostra o gráfico com os resultados obtidos. Ele menciona que a curva no topo corresponde ao fluxo máximo e, as outras descendo, a fluxos progressivamente menores. Com a participação dos estudantes, ele conduz a interpretação dos resultados. A força resultante é essencialmente a de atrito. Ela atua no sentido contrário ao movimento, freando o planador. Assim, de acordo com a segunda lei de Newton, a aceleração se opõe à velocidade e é proporcional à força de atrito que é maior para fluxos de ar menores. Coerentemente, vê-se no gráfico acelerações maiores para fluxo menores. O professor observa que em muitas situações do dia-a-dia há forças de atrito elevadas, que levam os corpos a acelerações grandes – a uma parada rápida, quase instantânea de objeto, assim que cessa a força que o empurra ou puxa.

Figura 83 – Slide 19 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

Explicação:

- O que se deseja aqui é compatibilizar o fenômeno surpreendente para o estudante – a persistência do movimento, sem uma força impulsora – com aquilo que ele comumente observa. A tentativa é levar o discente a enxergar a segunda lei de Newton em ação na transição suave da situação de força de atrito insignificante até aquela de uma força de atrito grande.

Observações:

- Não houve tempo para sondar o entendimento dos estudantes

Cena 11 – Conclusão e síntese (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor sintetizou as conclusões das análises e discussões da aula usando o slide da figura que se segue.

Figura 84 – Slide 20 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

Conclusões:

- Não é preciso ter força para ter movimento;
- 1ª LEI DE NEWTON:**
- Quando a resultante das forças que atuam em um corpo for nula, ele se move com velocidade constante (zero ou não)
- A 1ª e 2ª leis de Newton dão conta de tudo que vimos

Fonte: Própria autora.

- Por fim, o instrutor recolheu as folhas de atividades e despediu-se da turma.

Explicação:

- Depois de um trabalho intenso e, por vez confuso para o estudante, é importante sintetizar organizadamente as conclusões.

5.4.2 Análise das Respostas dos Discentes na Sequência Didática sobre a Primeira Lei de Newton

A pergunta 1:

Lembrando, primeira questão da folha de atividades da sequência didática sobre a primeira lei de Newton (Apêndice C), tem como objetivo estimular o estudante a refletir sobre trajetória, velocidade, aceleração, entre outros aspectos do movimento.

Essa questão (e as outras da folha) pode ser corretamente respondida com base na primeira lei de Newton. De fato, a partir do instante em que o bloco deixa de estar em contato com a mão, a força resultante sobre ele passa a ser nula e, de acordo com a primeira lei de Newton, o bloco continuará em movimento retilíneo uniforme.

Em todas as respostas individuais apresentadas, verificou-se a ausência de justificativas. Adicionalmente, nenhuma delas fez qualquer referência à primeira lei de Newton. Duas delas (8,0%), apresentadas abaixo, foram consideradas incompletas: na primeira, o estudante está correto ao afirmar que a velocidade será constante e, na segunda, que o bloco se moverá numa trajetória retilínea. Ambas, no entanto, não apresentam justificativas fundamentadas na primeira lei de Newton (assim como todas as demais), e a

segunda resposta não aborda o módulo da velocidade. Abaixo, apresentam-se essas respostas, transcritas com a grafia original dos estudantes:

- **ALUNO 5:** “*Após o bloco sair da sua mão ele deslizara com uma velocidade constante*”.
- **ALUNO 24:** “*Ele segue um caminho reto sobre a superfície do gelo*”.

Uma das respostas (4,0%), apresentada a seguir, foi considerada parcialmente correta. Nela, o trecho “*Ele vai se mover no mesmo sentido em que estava enquanto ainda está na minha mão*” sugere que o bloco continuará se movendo em linha reta após perder o contato com a mão, o que está em conformidade com a primeira lei de Newton. Contudo, o trecho “*em movimento constante até parar*” indica uma contradição com esta mesma lei, pois o aluno acredita que o bloco irá parar:

- **ALUNO 11:** “*Ele vai se mover no mesmo sentido que estava enquanto ainda esta na minha mão e em movimento constante até parar*”.

Muitos discentes (8 — 32,0%) citaram a facilidade com que o bloco se move sobre a superfície de gelo, conforme ilustrado nos exemplos a seguir:

- **ALUNO 3:** “*Ele escorregará, e deslizará com facilidade*”.
- **ALUNO 12:** “*Ele deslisará com facilidade até que encontre a borda da superfície*”.
- **ALUNO 20:** “*Ele irá deslizar por muito tempo no gelo e com facilidade*.”
- **ALUNO 25:** “*Deslisa com facilidade sobre a superfície*”.
- **ALUNO 10:** “*Com movimento constante e com pouca variação de velocidade. Deslizará com facilidade*.”

Outras respostas (5 — 20,0%), mostradas abaixo, sugerem que a força ou impulso criado pela mão continuam a agir no bloco a partir do instante em que ele deixa de estar em contato com ela, o que remonta à concepção de ímpeto (veja a subseção 2.1.2 e tabela 2):

- **ALUNO 6:** “*Ele se move de acordo com o impulso da mão*”.
- **ALUNO 17:** “*Ele se move em linha reta com a mesma força que foi exercida sobre o bloco*”.
- **ALUNO 9:** “*Ele se move continuamente, já que a superfície do gelo é lisa e a superfície do bloco é lisa também, ele continuará se movendo de acordo com a força aplicada sobre ele*”.
- **ALUNO 16:** “*Como é um local escorregadio, ele irá se mover de acordo com a força aplicada nele*”.

- **ALUNO 18:** “*O bloco irá se mover constantemente, através da força aplicada”.*

Em uma das respostas (4,0%), mostrada abaixo, o estudante parece acreditar na crença listada na tabela 2 como “*necessidade de uma força para haver movimento*”:

- **ALUNO 7:** “*Com uma grande força resultante a partir do momento em que você solta da mão”.*

A resposta a seguir (4,0%), fornecida por um estudante, indica a concepção alternativa de que força é proporcional à velocidade, presente na tabela 2:

- **ALUNO 14:** “*Dependendo da força que eu estou empurrando ele se estiver empurrando com força ele irá em uma velocidade maior”.*

Outra resposta (4,0%) parece indicar uma incompreensão da situação descrita no enunciado da pergunta. Por esse motivo, recomenda-se que o professor represente a situação utilizando objetos disponíveis em sala de aula, como uma carteira e um apagador:

- **ALUNO 13:** “*Ele vai caindo e se movendo em direção do chão*”.

Três discentes (12,0%) parecem acreditar que a velocidade do bloco varia, em vez de permanecer constante, como mostrado nas respostas abaixo:

- **ALUNO 1:** “*Ele continua se movendo, mas vai perdendo a velocidade gradativamente”.*
- **ALUNO 15:** “*se moverá com a mesma intensidade e começará a perder a velocidade de acordo com o tempo”.*
- **ALUNO 4:** “*A velocidade iria aumentar e depois permanecer constante”.*

Por fim, três respostas (12,0%) não puderam ser devidamente analisadas devido à ausência de detalhes:

- **ALUNO 22:** “*Ele deslizara mais rápido”.*
- **ALUNO 23:** “*Pela água do gelo que vai derretendo*”.
- **ALUNO 8:** “*Ele vai escorregar rapidamente no gelo”*

Em resumo, em todas as respostas individuais apresentadas, os estudantes não apresentaram justificativa. Além disso, nenhuma menciona a primeira lei de Newton. Duas respostas foram classificadas como incompletas e uma como parcialmente correta. A maioria destacou a facilidade do movimento do bloco de aço sobre a superfície de gelo. Muitas pareciam refletir a concepção alternativa de ímpeto, enquanto uma indicou a crença na proporcionalidade entre força e velocidade e outra sugeriu que é preciso haver força para ter movimento. Houve ainda uma das respostas em que o contexto da questão parece não ter sido compreendido. Três respostas sugerem que a velocidade do bloco não permanece constante,

mas varia ao longo do tempo. Outras três, devido à falta de detalhes, não puderam ser devidamente analisadas.

Em seguida, apresenta-se a análise das respostas à segunda questão da folha de atividades da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.

A pergunta 2:

A segunda questão da folha de atividades (Apêndice C) tem o propósito de especificar a pergunta anterior, como mencionado na seção 5.4.1. Como se pode notar, essa questão é quase idêntica à primeira. A única exceção é que, agora, questiona-se especificamente sobre a velocidade do bloco: como ela varia a partir do instante em que ele perde o contato com a mão.

Como já explicado, de acordo com a primeira lei de Newton, a velocidade permanece constante.

A exemplo do que ocorreu anteriormente, nenhuma das respostas individuais citou a primeira lei de Newton. Dessas, duas (8,0%) foram consideradas incompletas, pois, embora afirmem corretamente que velocidade não varia, carecem de uma justificativa baseada na referida lei. Tais respostas são apresentadas a seguir:

- **ALUNO 23:** “*Ele se mantém com a mesma velocidade*”
- **ALUNO 7:** “*Com a velocidade que você o empura da sua mão*”

Outras três (12,0%) foram classificadas como parcialmente corretas, pois em todas elas a velocidade constante não é explicada pela primeira lei de Newton, mas pela ausência de uma força de atrito:

- **ALUNO 9:** “*A velocidade não vai variar, se a pista for completamente lisa e a superfície do bloco também a velocidade se manterá.*”
- **ALUNO 16:** “*ele se move em uma velocidade constante, por não ter força de atrito*”
- **ALUNO 22:** “*Ele pegará velocidade constante pois o gelo é uma superfície lisa*”

Todas as outras vinte respostas (80,0%) foram classificadas como incorretas. Uma delas, apresentada a seguir, sugere, uma vez mais, a crença na necessidade de uma força para haver movimento, listada na tabela 2:

- **ALUNO 1:** “*Ele fica mais lento sem a força exercida sobre ele, ele não possui força externa para continuar se movendo.*”

Outras três sugerem, novamente, a concepção alternativa de que força é proporcional à velocidade, também mencionada na tabela 2:

- **ALUNO 18:** “*A velocidade depende da força, com uma força maior a velocidade será maior, pela superfície ser plana e lisa o bloco deslizará constantemente com facilidade.*”
- **ALUNO 21:** “*velocidade irá depender da força que ele irá colocar no bloco e ele irá deslizar com facilidade ela irá ser constante.*”
- **ALUNO 14:** “*Depender da velocidade que eu vou estar empurrando o bloco, se estiver numa velocidade maior ele irá deslizar com mais facilidade.*”

É importante destacar que o último aluno parece confundir os conceitos de força e velocidade, o que também é uma crença comum entre muitos estudantes (Pacca, 2018).

Na resposta seguinte, o estudante parece evocar a concepção de “ímpetus” e referir-se ao seu desgaste (veja seção 2.1.2 e tabela 2). Com efeito, ele parece crer que a força aplicada sobre o bloco continua a atuar sobre ele mesmo após o término do contato, diminuindo gradualmente ao longo do tempo:

- **ALUNO 17:** “*Em minha opinião a força que será exercida sobre o bloco ela vai diminuindo ao passar do tempo com a força que foi aplicada nela.*”

As duas respostas que seguem indicam, novamente, uma compreensão inadequada da situação-problema, o que reforça a necessidade do professor representá-la:

- **ALUNO 13:** “*A partir do momento que ele cai a velocidade dele aumenta.*”
- **ALUNO 19:** “*Pois se tiver inclinado ele não deslizará com facilidade.*”

Em sete das respostas percebe-se que a velocidade varia em vez de permanecer constante, como ilustram alguns exemplos:

- **ALUNO 15:** “*Irá sofrer uma alteração, e sua velocidade vai aumentar e diminuir de acordo com o tempo até parar por completo.*”
- **ALUNO 4:** “*ela iria permanecer constante e aos poucos ia diminuir. Porque a superfície lisa do gelo iria ajudar a velocidade a permanecer constante e como não avera força sendo aplicada nele a velocidade iria diminuir aos poucos”.*
- **ALUNO 6:** “*Com o empulso maior aos poucos vai diminuindo a velocidade até parar”*
- **ALUNO 24:** “*Por conta o atrito o bloco iria ganhar velocidade apartir do momento que saísse da minha mão”*
- **ALUNO 11:** “*Ela vai diminuir. Depois que sair da minha mão ele vai mover com uma velocidade e depois ela vai diminuir.”*

- **ALUNO 25:** *“A partir do momento do empurrão vai haver uma aceleração até o corpo começar a perder velocidade”*

A resposta anterior evidencia uma compreensão incompleta do conceito de aceleração. De fato, o estudante não reconhece a redução de velocidade como um caso de aceleração. Para ele, aceleração parece representar apenas aumento de velocidade, em vez de variação de velocidade. Essa ideia, vale lembrar, já havia sido identificada em outro estudante.

As 6 respostas restantes, devido ao uso de palavras imprecisas e ausência de detalhes, não permitiram compreender com exatidão aquilo que o aluno buscou expressar:

- **ALUNO 20:** *“Rápido, porque o bloco de aço e o gelo é liso”*
- **ALUNO 10:** *“primeiramente, ao sair de sua mão, o corpo terá uma velocidade mais rápida, mais com o passar do tempo, a velocidade diminuirá”*
- **ALUNO 2:** *“Ela ficará lenta.”*
- **ALUNO 8:** *“primeiramente ele vai ganhar impulso devido ao impacto e depois vai perdendo velocidade a partir do tempo”*
- **ALUNO 3:** *“Ele ficará mais lento até parar.”*
- **ALUNO 12:** *“A partir do momento que ele sair da sua mão ele irá continuar em velocidade e aceleração continua.”*

De forma resumida, antes das discussões nenhuma das respostas fez qualquer referência à primeira lei de Newton. Dentre elas, duas foram consideradas incompletas, 3 parcialmente corretas e as 20 restantes incorretas.

Após as discussões, a primeira lei de Newton permaneceu ausente em todas as respostas. Dessas, uma foi classificada como parcialmente correta e quatorze como incorreta. Os outros dez estudantes não apresentaram resposta.

A seguir, apresentam-se os resultados da análise das respostas à terceira questão da folha de atividades sobre a primeira lei de Newton.

A pergunta 3:

A terceira questão da folha de atividades (Apêndice C) tem o objetivo de apresentar e solicitar aos estudantes concepções alternativas comuns, conforme descrito na subseção 5.4.1.

Antes das discussões, todas as respostas estavam incorretas. A maioria concentrou-se na alternativa (d), escolhida por dezessete estudantes (68,0%), seguida da opção (a), assinalada por sete (28,0%). Apenas uma das respostas (4,0%) indicava a alternativa (g).

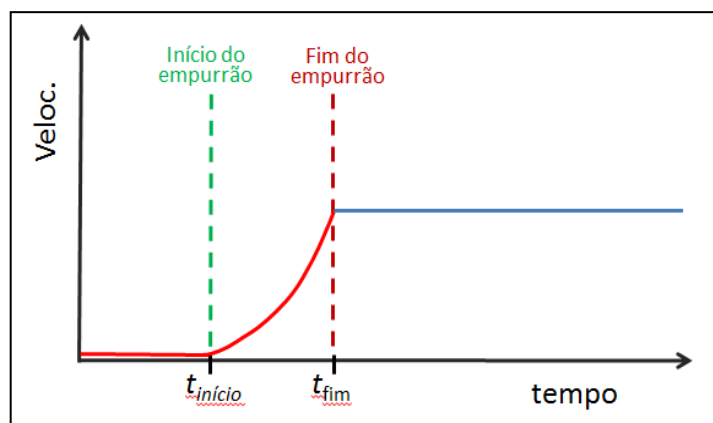
Após as discussões, as respostas corretas aumentaram de zero para dois (8,0%), o que corrobora, uma vez mais, a eficácia das discussões entre pares (Mazur, 1997). Contudo, a maioria permaneceu incorreta. De fato, seis (24,0%) correspondiam à alternativa (a), uma (4,0%) à (c), cinco (20,0%) à (d) e uma (4,0%) à (g). Além disso, oito estudantes (32,0%) não responderam e dois (8,0%) assinalaram mais de uma opção.

A pergunta 4:

A quarta questão da folha de atividades (Apêndice C), tem o propósito de estimular o estudante a praticar a representação gráfica, conforme discutido na subseção 5.4.1. Recapitulando, a questão solicita ao estudante que represente, no gráfico de velocidade em função do tempo acima, a variação da velocidade do bloco de aço a partir do instante em que deixa de estar em contato com a mão.

Dado que a velocidade do bloco permanece constante, o gráfico correto é o apresentado na figura 85 abaixo:

Figura 85 – Gráfico correto para a quarta questão da folha de atividades sobre a primeira lei de Newton

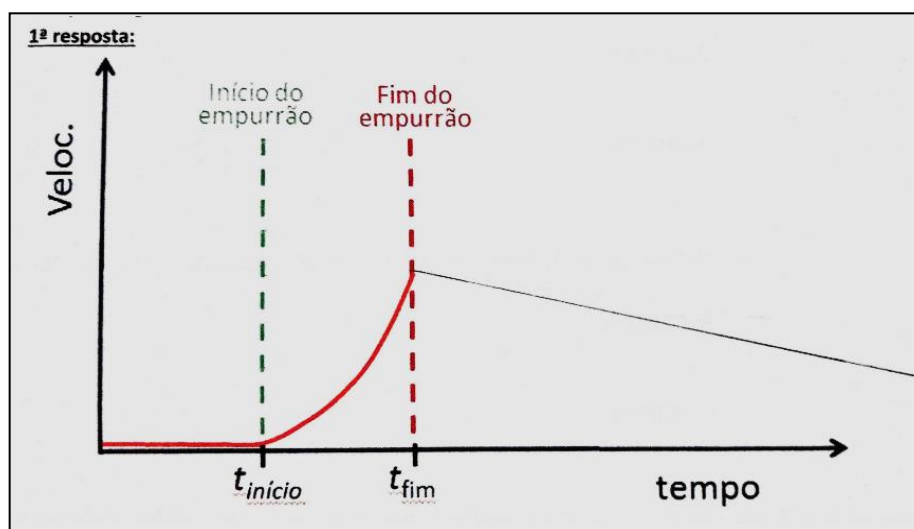


Fonte: Própria autora.

Antes das discussões, nenhum gráfico estava correto. Desses, a maioria (9 — 36,0%) mostrava uma velocidade que permanece constante por algum tempo e, em seguida, diminui até o corpo parar.

Em seis dos gráficos (24,0%), a velocidade diminui em função do tempo:

Figura 86 – Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades, feito por um estudante, antes das discussões em grupos.



Fonte: Própria autora.

Legenda: O gráfico representa uma velocidade que diminui ao longo do tempo, em vez de permanecer constante.

Quatro deles (16,0%) exibem uma velocidade que aumenta até atingir certo valor, no qual permanece por algum tempo e, em seguida, diminui:

Figura 87 - Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades, feito por um estudante, antes das discussões em grupos.

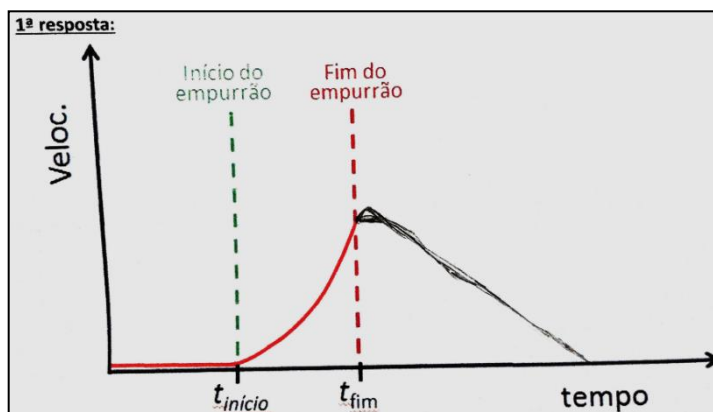


Fonte: Própria autora.

Legenda: Ele representa uma velocidade que aumenta até certo valor, o qual é mantido por algum intervalo de tempo e, em seguida, diminui, em vez de permanecer constante durante todo o tempo.

Dois dos esboços (8,0%) mostram uma velocidade que aumenta até alcançar um valor máximo, a partir do qual diminui até o bloco atingir o repouso. Um exemplo é mostrado na figura 88:

Figura 88 - Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades, esboçado por um estudante, antes das discussões em grupos.

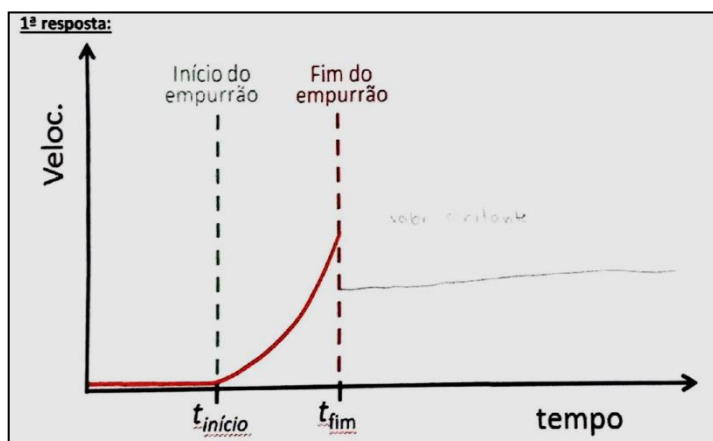


Fonte: Própria autora.

Legenda: O gráfico mostra uma velocidade que aumenta até atingir um valor máximo a partir do qual diminui até o corpo parar.

Em um dos gráficos (4,0%), mostrado abaixo, a velocidade constante é inferior àquela em que o bloco se encontrava imediatamente antes de perder o contato com a mão:

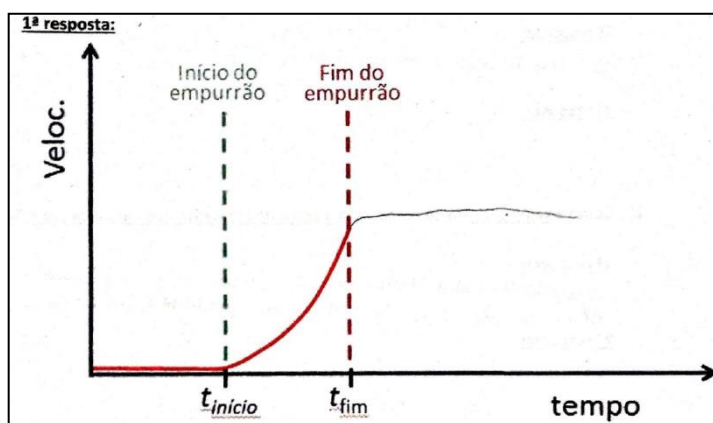
Figura 89 - Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades, esboçado por um discente (antes da discussão) que representa uma velocidade constante, porém inferior à que o bloco estava imediatamente antes de desencostar da mão



Fonte: Própria autora.

Em outro gráfico (4,0%), a velocidade oscila ligeiramente ao longo do tempo. Veja a figura 90 abaixo:

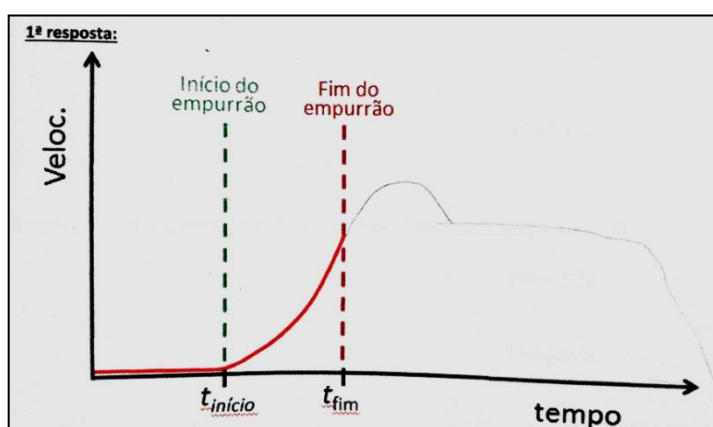
Figura 90 - Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades sobre a primeira lei de Newton, feito por um estudante (antes da discussão), representando uma velocidade que oscila ligeiramente em função do tempo, e não uma velocidade constante.



Fonte: Própria autora.

Por fim, dois gráficos (8,0%) apresentaram um comportamento inusitado para a velocidade, o que dificultou sua previsão. Um exemplo é mostrado a seguir:

Figura 91 - Gráfico incorreto para a quarta questão da folha de atividades, feito por um estudante (antes das discussões) que representa um comportamento inusitado para a velocidade, em vez de velocidade constante.



Fonte: Própria autora.

Após as discussões, os gráficos corretos aumentaram, indo de zero para onze (44,0%). Além disso, dez das respostas permaneceram incorretas (40,0%). Em cinco delas, a velocidade diminui ao longo do tempo. Três indicavam uma velocidade que permanece constante durante algum tempo e, em seguida, diminui. Em um gráfico, a velocidade aumenta

até um valor máximo a partir da qual diminui e, em outro, ela aumenta até atingir um valor constante no qual permanece. Adicionalmente, quatro discentes (16,0%) não forneceram resposta.

A pergunta 5:

A quinta questão da folha de atividades (Apêndice C), conforme dito na subseção 5.4.1, também busca estimular o estudante a recordar e a explicitar suas concepções sobre a relação entre força e movimento. Como explicado anteriormente, a resposta correta é nenhuma força, pois, de acordo com a primeira lei de Newton, não é necessária a atuação de uma força para que um corpo mantenha seu movimento. Contudo, a maioria das respostas mencionava alguma força.

Antes das discussões, seis das respostas (24,0%) foram classificadas como incompletas, uma vez que, embora reconheçam corretamente que nenhuma força é necessária para manter o planador em movimento, carecem de justificativa baseada na primeira lei de Newton. A seguir, essas respostas são apresentadas:

- **ALUNO 1, 2 e 25:** “*nenhuma*”
- **ALUNO 3 e 7:** “*nenhuma força.*”
- **ALUNO 15:** “*não há força*”

Todas as demais foram consideradas incorretas. Em quatorze delas (56,0%) observou-se a menção a alguma força, o que sugere, mais uma vez, à concepção alternativa de que é preciso ter força para ter movimento. Alguns exemplos incluem:

- **ALUNO 14:** “*força gravitacional e força de atrito*”
- **ALUNO 5:** “*A força de sua massa, fazendo ele manter a mesma velocidade em que ele foi parado de ser empurrado.*”
- **ALUNO 9:** “*A força gravitacional do local onde ele está.*”
- **ALUNO 16:** “*A força da gravidade e a falta da força de atrito entre o planador e a superfície*”
- **ALUNO 24:** “*A força da energia cinética ...*”
- **ALUNO 13:** “*A força da inércia.*”

Além da concepção alternativa discutida, a resposta do ALUNO 13 sugere uma compreensão equivocada da inércia como uma força, em vez de uma propriedade dos corpos de se manterem em movimento ou em repouso. A resposta do ALUNO 24, por sua vez, indica uma confusão entre os conceitos de força e energia.

Uma das respostas (4,0%), apresentada abaixo, parece evocar, novamente, a crença “ímpeto”:

- **ALUNO 6:** *“Ele tem o resto de velocidade até parar”*

Três discentes (12,0%) forneceram respostas que, contudo, não respondiam ao que foi questionado. Dentre essas, destaca-se a de um estudante por mencionar a primeira lei de Newton. É importante enfatizar que essa foi à primeira vez em que tal lei foi citada. Segue, abaixo, a resposta desse aluno. Aparentemente, ele responde sobre a velocidade, e não sobre a força:

- **ALUNO 8:** *“vai ser constante. Primeira lei de Newton”*

A ausência de detalhes inviabilizou a análise aprofundada de uma das respostas (4,0%) apresentada abaixo:

- **ALUNO 23:** *“não mantém”*

Em suma, antes das discussões, seis respostas (24,0%) reconheciam corretamente que nenhuma força é necessária para que o planador continue em movimento, mas não apresentaram justificativa fundamentada na primeira lei de Newton. A maioria (14 — 56,0%) mencionou alguma força, o que pode indicar a crença de que é preciso ter força para ter movimento. Uma resposta (4,0%) parecia evocar a concepção de ímpeto. Pela primeira vez, a primeira lei de Newton foi mencionada, embora a resposta se referisse à velocidade e não à força (4,0%). Assim como essa, outras duas (8,0%) não abordaram o que foi questionado, e uma última (4,0%) não possuía informações suficientes para permitir uma análise mais aprofundada.

Após as discussões, as respostas que afirmam “nenhuma força” aumentaram de seis para dezoito (72,0%). Três delas, apresentadas a seguir, trouxeram justificativas. Cabe destacar que, antes das discussões, nenhuma das respostas com essa afirmação havia sido justificada:

- **ALUNO 9:** *“Nenhuma força. A primeira lei de Newton é capaz de explica esse acontecimento.”*
- **ALUNO 12:** *“nenhuma, quando a força é nula o objeto mantém velocidade constante.”*
- **ALUNO 17:** *“Não e preciso Nenhuma Força para ter o movimento”*

Esses resultados mostram que as discussões em grupo foram eficazes tanto no aumento do número de respostas consideradas incompletas quanto no aprimoramento da qualidade de algumas delas, com a inclusão de justificativas consistentes.

Além disso, um estudante (4,0%) manteve seu posicionamento inicial de que o movimento do corpo é sustentado pelo “resto de velocidade”, e dois (8,0%) afirmaram que ele é mantido pela força da gravidade e pela ausência de atrito. Por fim, quatro estudantes (16,0%) não responderam à questão.

De modo geral, a análise das respostas dos estudantes à folha de atividades sobre a primeira lei de Newton (assim como à folha de atividades sobre a segunda lei de Newton) corrobora que as concepções alternativas sobre força e movimento são muito resistentes à mudança pelo método tradicional de ensino, sendo esse resultado independente do instrutor e do modo de instrução (Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992).

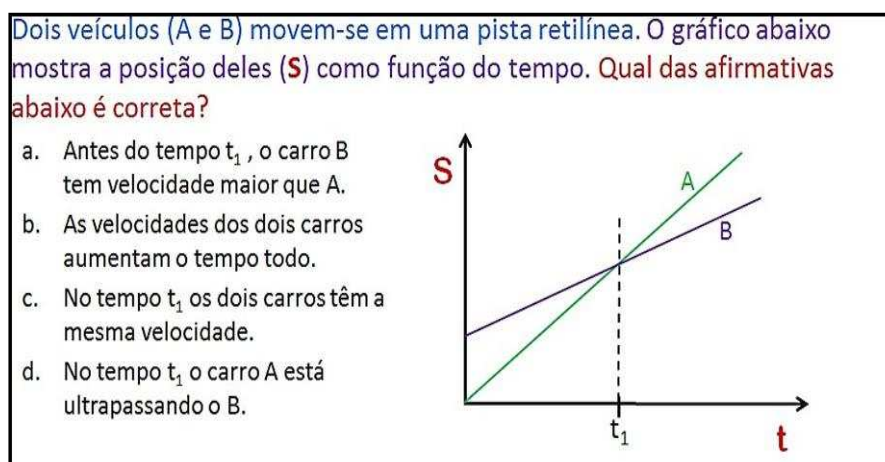
5.5 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE CINEMÁTICA

Cena 1 — Discriminando os conceitos de posição e velocidade e praticando a leitura gráfica (Cinemática)

Roteiro:

- Inicialmente, o professor apresenta aos estudantes o teste conceitual mostrado na figura 92 abaixo;

Figura 92 - Primeiro teste conceitual da sequência didática sobre cinemática



Fonte: Própria autora.

- Em seguida, o professor pode relembrar com os estudantes as definições de velocidade média e instantânea, aproveitando que a questão não especifica a qual delas se refere;
- Em seguida, é realizado o processo-padrão de resposta e discussão já apresentado: reflexão individual, registro da resposta, alguns alunos apresentam oralmente a sua res-

posta para a classe, discute-se em pequenos grupos e novamente registra-se as respostas

- Por fim, o professor resolve o teste com a participação da turma, discutindo cada uma das alternativas.

Explicações:

- Como abordado na seção 5.2, o estudante, em geral, tem dificuldades em distinguir conceitos fundamentais em cinemática, como posição, velocidade e aceleração. Nesse sentido, o teste tem o propósito de destacar a distinção entre os conceitos de posição e velocidade. Adicionalmente, busca-se praticar a leitura do gráfico de posição em função do tempo.

Observações:

- Antes das discussões, as respostas se concentraram na alternativa C. Ao compartilharem sua escolha com a turma e também a justificativa para ela, ficou evidente que a escolha da alternativa C era devida a uma confusão dos conceitos de posição e velocidade. Os estudantes observaram que no tempo T1 os dois carros estavam na mesma posição e concluíram que eles tinham a mesma velocidade.

Cena 2 — Discriminando os conceitos de velocidade e aceleração (Cinemática)

Roteiro

- Primeiramente, o professor pode projetar o teste conceitual mostrado na figura 93 abaixo;

Figura 93 - Segundo teste conceitual da sequência didática sobre cinemática

Considere dois carro em movimento. É possível que o primeiro tenha uma velocidade muito maior que a segundo e ao mesmo tempo tenha também uma aceleração muito menor?? Explique!

a. Sim.
b. Não.
c. Não sei.

Fonte: Própria autora.

- Em seguida, é realizado o processo-padrão de resposta e discussão;
- Após, o professor constrói a resposta correta com a ajuda dos estudantes.

- Na sequência, o professor deve projetar a fotografia estroboscópica do salto de um atleta mostrada na figura 94 abaixo. Durante a projeção dessa imagem, ele explica para os estudantes o que é uma fotografia estroboscópica e como ela é feita.

Figura 94 - Ilustração de uma fotografia estroboscópica do salto de um atleta



Fonte: getty images.

- Em seguida, o professor apresenta o teste conceitual mostrado na figura 95 abaixo.

Figura 95 – Terceiro teste conceitual da sequência didática sobre cinemática

A foto estroboscópica abaixo, mostra uma bola que se move da esquerda para a direita. É correto afirmar que

- A velocidade e a aceleração são nulas.
- A velocidade não é nula, mas a aceleração é nula.
- A velocidade aumenta durante o movimento.
- Nenhuma das alternativas é correta

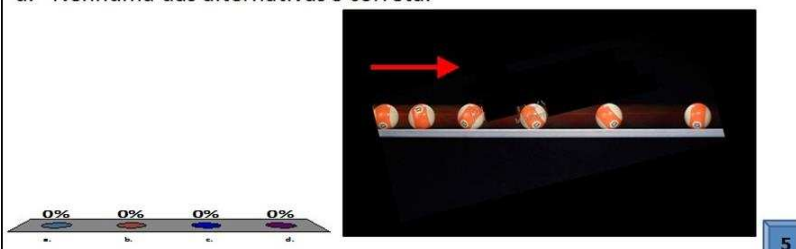
Fonte: Própria autora.

- Após os estudantes concluírem a leitura do teste, eles devem ter um tempo para que reflitam em silêncio e individualmente no problema;
- Posteriormente, o professor deve solicitar o compartilhamento de algumas respostas;
- Posteriormente, o professor deve projetar a pergunta mostrada na figura 96 abaixo:

Figura 96 - Quarto Terceiro teste conceitual projetado para os alunos durante a sequência didática sobre cinemática

A foto estroboscópica abaixo, mostra uma bola que se move da esquerda para a direita. É correto afirmar que

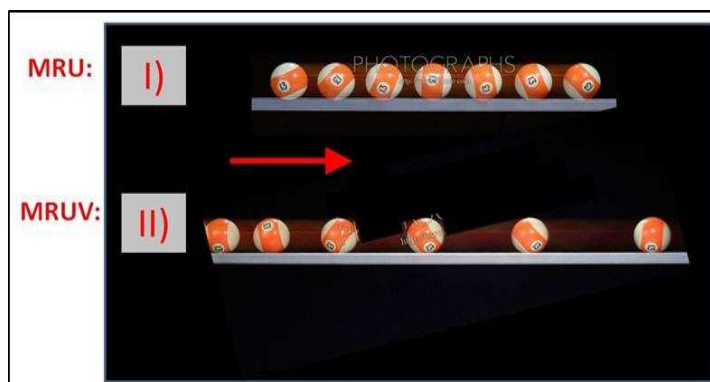
- A velocidade e a aceleração são nulas.
- A velocidade e a aceleração não são nulas.
- A velocidade diminui durante o movimento.
- Nenhuma das alternativas é correta.



Fonte: Própria autora.

- Após os estudantes terem um momento de reflexão individual e silenciosa sobre o problema, o professor pode pedir a alguns que apresentem sua resposta e justifiquem sua escolha para a classe.
- Em seguida o docente pode projetar a figura 97 mostrada abaixo e explicar que a parte I da figura é uma fotografia estroboscópica de uma bola, deslocando-se para a direita com velocidade constante. Nessa imagem, obtida em um ambiente escuro, com uma lâmpada que pisca periodicamente, mantendo-se aberto o diafragma da câmara, captura-se a posição da bola em diferentes momentos, regularmente espaçados. Analogamente, na parte II são mostradas as posições de uma bola com aceleração constante em diferentes tempos.

Figura 97 - Sequência de fotografias estroboscópicas de uma bola de bilhar deslocando-se no sentido da seta



Fonte: Própria autora.

Legenda: Na figura I) a bola se move com movimento retilíneo uniforme (MRU), enquanto na imagem II), apresenta movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV)

- Por fim, o professor pode realizar uma síntese, com a participação da turma, das observações e conclusões a respeito do movimento da bola mencionada no terceiro e no quarto teste conceitual.

Explicações: Os três testes anteriores destacam a distinção entre velocidade e aceleração, como mencionado anteriormente, esses conceitos não são discriminados por diversos estudantes.

Observações:

- No que se refere ao segundo teste conceitual, antes das discussões, a maioria das respostas havia se concentrado na alternativa correta (a). No entanto, durante o compartilhamento de algumas respostas e da justificativa para elas, ficou claro que mesmo aqueles que tinham marcado a opção certa não sabiam explicar corretamente.
- Em relação ao terceiro teste conceitual, após refletirem em silêncio e individualmente sobre o problema e compartilharem suas respostas com a classe, verificou-se que houve uma concentração na alternativa correta (b). Dada à dominância de respostas e justificativas corretas, o professor explicou brevemente o teste, sem de longa, e construiu a solução correta com a participação da turma.
- Quanto ao quarto teste conceitual, após solicitar a alguns estudantes que justificassem sua escolha e verificar que não havia divergências nas explicações, o professor resolveu brevemente o teste com a participação da turma.

Cena 3 — Distinguindo a curva de posição em função do tempo da trajetória e praticando a leitura gráfica (Cinemática)

Roteiro:

- Primeiramente, professor apresenta a questão mostrada na figura 98 abaixo:

Figura 98 – Quinto teste conceitual da sequência didática sobre cinemática

Um monge saiu do mosteiro às 4h da manhã e caminhou por uma estrada até o topo de uma montanha. Lá ele passou a noite em oração e na manhã seguinte, novamente às 4h, tomou a mesma estrada e voltou ao mosteiro.



O monge passou por algum ponto da estrada na mesma hora nos dois dias?

a. Certamente não.

b. Certamente sim.

c. Depende do modo como ele caminhou.

0% 0% 0%

8

Fonte: Própria autora

- Após os estudantes lerem o teste, o professor pode reexplicá-lo para que os discentes o compreendam e pensem no problema certo.
- Em seguida, o professor explica o significado do trecho “algum ponto da estrada no mesmo horário” do enunciado.
- Depois disso, os estudantes devem ter alguns minutos para que pensem na pergunta individualmente e em silêncio. Terminado esse tempo, eles submeteram suas respostas.
- Para auxiliarem os estudantes a construírem a resposta correta, o professor pode esboçar diferentes curvas no gráfico de posição versus tempo simulando a caminhada do monge desde sua saída do mosteiro as 4horas da manhã até a sua chegada ao topo da montanha e ajudar os discentes a realizarem a leitura de cada uma delas.
- Nesse momento, o professor pode ressaltar que as curvas no gráfico não representam trajetória, e sim como a posição do monge varia com o tempo.
- Depois disso, o professor pode solicitar aos discentes que construam curva que pos-

sam representar a volta do monge ao mosteiro.

- Em seguida, o professor pode ajudar os estudantes a interpretar a interseção entre as curvas de ida e volta.

Explicações:

- O propósito do quinto teste conceitual é duplo. Com efeito, busca-se estimular os estudantes a leitura gráfica e auxiliá-los a distinguir a curva de posição como função do tempo da trajetória.

Observações:

- A maioria das respostas individuais dos estudantes se concentrou na alternativa c. Tanto para aqueles que marcaram a alternativa b quanto para os que marcaram a alternativa c, o monge somente passaria pelo mesmo ponto no mesmo horário se caminhasse com velocidade constante.
- Com o auxílio do professor, os estudantes foram capazes de concluir que curvas que representam “voltas” no tempo assim como aquelas que não eram contínuas não poderiam representar a posição do monge como função do tempo. Além disso, os estudantes conseguiram compreender que o ponto de interseção significava que o monge estava no mesmo lugar e na mesma posição independentemente do modo que ele caminhava.

5.6 IMPRESSÕES PESSOAIS ACERCA DAS LEIS DE NEWTON

5.6.1 Impressões da Autora

Durante a sequência didática sobre a segunda lei de Newton, a autora percebeu que, conforme previsto pela professora regente, no início os estudantes mostraram-se tímidos para responder às perguntas, mas, surpreendentemente, a participação aumentou significativamente a partir desse momento. Os estudantes se engajaram de forma intensa nas discussões, muitas vezes prolongando-as a ponto de ser preciso esperar para seguir para a próxima questão. A autora notou alguns estudantes continuaram debatendo entre si mesmo após o encerramento de determinadas atividades e que outros buscaram tirar dúvidas com ela.

Ao perguntar *“Uma força menor agindo sobre o planador o leva a uma velocidade menor? Justifique.”*, ela percebeu que a formulação poderia ser melhorada para, por exemplo,

“Uma força de puxamento menor leva o planador a uma velocidade menor? Justifique.” de modo a deixar mais claro a que força o enunciado se referia, evitando confusões observadas nos estudantes. Ao analisar o comportamento da turma durante a exibição dos vídeos, os estudantes pareceram muito atentos, reforçando a impressão de interesse. A autora considerou também que, diante do diagnóstico da professora sobre as dificuldades das turmas, seria importante estabelecer conexões explícitas entre o experimento e situação explorada na atividade, o que pareceu favorecer a compreensão.

Ela observou que, ao interpretar gráficos de velocidade em função do tempo, o desempenho dos estudantes superou suas expectativas iniciais, já que conseguiram extrair informações corretas e relacioná-las adequadamente à situação física mostrada no vídeo. Apesar disso, identificou dificuldades pontuais, como a obtenção de valores de velocidade e de tempo não explícitos no gráfico.

Quando foi necessário calcular a aceleração, a autora percebeu que a maioria se lembrou rapidamente das equações necessárias, mas houve interpretações equivocadas na comparação entre os resultados obtidos pelo gráfico e pela segunda lei de Newton. Ela considerou fundamental aproveitar o momento para esclarecer que diferenças numéricas decorriam de erros experimentais e de simplificações adotadas nos cálculos.

A autora notou que as questões utilizadas cumpriram bem o papel de revelar concepções alternativas, permitindo que fossem discutidas e corrigidas em tempo real. Ainda assim, sentiu a necessidade de realizar novas sequências didáticas sobre a segunda lei de Newton, abordando o tema com outras perguntas, já que percebeu que muitos discentes permaneciam apegados às suas concepções iniciais.

Antes da sequência didática sobre a primeira lei de Newton, a autora previa que, devido à presença de seu orientador e de outro observador na sala, os estudantes ficariam tímidos e pouco participativos. No entanto, ela constatou o oposto: os discentes responderam às questões, interagiram ativamente com ela e participaram das discussões. A participação ativa também a surpreendeu, pois, considerando que a escola adota o método tradicional de ensino, ela antecipava resistência dos estudantes nesse momento da atividade. A autora notou, inclusive, que, muitas vezes, ao solicitar que pensassem individualmente, muitos seguiam diretamente para as discussões, o que a levou a concluir que o trabalho em grupo foi o que mais lhes agradou.

Por outro lado, chamou sua atenção o fato de que houve conversas paralelas sobre assuntos irrelevantes para a aula, algo que não havia ocorrido na atividade sobre a segunda lei

de Newton. Isso interferiu negativamente em sua apresentação e dificultou sua interação com alguns estudantes, pois tinha dificuldade em ouvi-los. Contudo, ela não se sentiu confortável para chamá-los à atenção. A autora acredita que esse comportamento inadequado tenha ocorrido devido à ausência da professora de Física. Essa conversa também prejudicou outros alunos, o que foi evidenciado por um estudante após a sequência didática, e teve a sensação de que tanto o orientador quanto alguns estudantes esperavam que ela tomasse alguma atitude.

O desempenho na interpretação do gráfico de velocidade versus tempo foi satisfatório, pois conseguiram associar trechos do gráfico a situações mostradas no vídeo. A parte da sequência didática sobre precisão das medidas, que a autora previa que geraria dificuldades, acabou transcorrendo sem problemas.

As respostas à pergunta “*Que força mantém o movimento do planador a partir do instante em que não é mais puxado?*” mostraram que a maioria dos estudantes mantém a concepção de que é preciso haver força para haver movimento, citando diferentes forças como responsáveis. Ainda que alguns tenham respondido “nenhuma força”, nem todos apresentaram justificativas corretas.

Durante as discussões, percebeu-se que os estudantes ficavam curiosos para saber se suas respostas estavam corretas, o que também foi mencionado após a aula por um deles.

5.6.2 Impressões da Professora Regente

Conforme mencionado na seção 4.6, foi realizada uma entrevista com a professora de Física da turma em que ocorreram as sequências didáticas relacionadas à primeira e à segunda lei de Newton. O objetivo era investigar as impressões da docente a respeito do trabalho realizado.

Inicialmente, a entrevista buscou compreender a formação acadêmica da professora, suas motivações para cursar Física e seu grau de satisfação com a profissão. A entrevistada possui graduação em Física pela Universidade Metropolitana de Santos (UNIMES), localizada em Santos, São Paulo, e pós-graduação em ensino de física pelas Faculdades Integradas de Jacarepaguá (FIJ), no Rio de Janeiro, ambas cursadas na modalidade de ensino à distância. Na escola em que as sequências ocorreram, atuou inicialmente como professora contratada durante pouco mais de 1 ano antes de ser efetivada em 2013 pelo estado de Minas Gerais. Com mais de 12 anos de experiência no ensino público, a professora relatou sua

afinidade com a disciplina de Física desde a época em que era estudante do Ensino Médio, o que motivou sua escolha. Apesar de desafios como a escassez de recursos didáticos e a falta de reconhecimento, ela destacou a satisfação em proporcionar boas aulas e alcançar resultados positivos com os estudantes.

Após mencionar sua formação acadêmica e experiência profissional, a professora foi convidada a relatar suas impressões sobre o trabalho realizado em classe, incluindo suas expectativas iniciais, observações feitas durante as atividades e sua percepção atual. Durante as atividades, a docente observou que a condução foi clara e didática e os discentes demonstraram boa participação. Em sua percepção atual, os estudantes estão mais interessados e participativos. Quando questionada sobre o que mais lhe chamou a atenção sobre o efeito das atividades nos estudantes, a entrevistada destacou que agora eles estão mais receptivos à compreensão da Física, mais participativos e que o medo antes associado à disciplina diminuiu. Durante esse momento, a professora revelou seu interesse em ministrar aulas mais interativas, mas devido à ausência de um laboratório, as aulas acabam focadas em problemas quantitativos. Além disso, ela comentou que, com apenas 1 aula de física por semana, devido ao Novo Ensino Médio, os conteúdos são ensinados de maneira superficial, contudo as sequências didáticas permitiram aprofundar no conteúdo da primeira e da segunda lei de Newton.

Depois de explorar, de forma livre, a percepção da docente acerca das sequências didáticas, a entrevista prosseguiu com questões específicas organizadas em dois blocos temáticos. O primeiro bloco de questões permitia investigar se o trabalho realizado proporcionou algum aprendizado a docente. Já o segundo bloco sondava os efeitos que as intervenções causaram nos estudantes.

No que se refere ao primeiro bloco, a professora foi questionada sobre eventuais aprendizados proporcionados pelo trabalho realizado em classe, sejam em termos de conteúdo ou metodologia; sobre a possibilidade de incorporar algum elemento das intervenções pedagógicas em sua prática didática; e sobre se as intervenções trouxeram alguma ideia nova sobre ensino e educação. Segundo a professora, nenhum aprendizado de conteúdo foi proporcionado a ela, uma vez que ela tinha o domínio dos temas envolvidos. Por outro lado, ela manifestou interesse em incorporar elementos das atividades em suas aulas, mas alegou enfrentar dificuldades. Quando questionada sobre quais elementos seriam esses, ela apontou experimentos simples. Ainda de acordo com ela, as sequências também não trouxeram ideias novas sobre ensino ou educação, pois ela sempre teve interesse em trabalhar daquela maneira.

Por fim, a professora foi convidada a oferecer sugestões para aprimoramento do trabalho, indicando elementos que pudessem ser modificados, excluídos e mantidos. Suas recomendações incluíram manter o que foi desenvolvido, aprimorar os pontos que a equipe considera necessários e aplicar o trabalho em outras escolas, especialmente públicas.

Com relação ao segundo bloco, quando questionada sobre o que sentiu nos discentes em termos de interesse pelas atividades, a professora respondeu que percebeu um interesse maior dos estudantes pelas atividades realizadas durante as intervenções do que em suas próprias aulas. Quando indagada sobre se recebeu algum *feedback* dos estudantes e quais foram, ela relatou ter recebido retornos positivos. Segundo a docente, os estudantes ficaram muito empolgados e gostaram muito das apresentações. Em relação ao impacto das atividades nas aulas subsequentes, a professora destacou que houve aumento nos questionamentos e no interesse dos estudantes. Por fim, ao ser questionado se os discentes obtiveram algum ganho de aprendizado, quais foram e como isso foi percebido, a docente respondeu afirmativamente e disse ter notado uma compreensão melhor de conteúdo por parte dos estudantes, evidenciada em uma conversa que teve com eles após as intervenções.

Em resumo, na percepção da professora, as sequências didáticas resultaram em um maior interesse e participação dos estudantes durante as aulas de Física, comportamentos que podem ser entendidos como indicadores de uma predisposição para aprendizagem. De acordo com Ausubel (1978), essa predisposição é necessária para que a aprendizagem significativa ocorra. Além disso, as intervenções favorecerem uma melhor compreensão dos conteúdos por parte dos estudantes e uma redução do medo que sentiam da disciplina. Esses resultados são indícios de que as sequências didáticas podem aprimorar o ensino de Mecânica promovendo maior interesse, participação e compreensão por parte dos estudantes.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho trata do ensino de mecânica newtoniana em nível introdutório. Em um primeiro momento, ele envolveu a aplicação do teste diagnóstico “Inventário do Conceito de Força” (FCI) a mais de 1.300 estudantes das três séries do Ensino Médio, em um período de três anos. O exame dos resultados à luz da literatura científica corroborou e identificou nos estudantes ideias não-newtonianas de difícil superação por meio das abordagens pedagógicas tradicionais. Identificaram-se entre as “concepções alternativas” mais desafiadoras as seguintes: (1) para que um corpo se mova, deve agir sobre ele uma força resultante não-nula; (2) a velocidade de um corpo é uma função crescente (frequentemente linear) dessa força; (3) quando um agente exerce força sobre um corpo, esse recebe um estímulo ao movimento, algo análogo a um combustível (como a gasolina), que mantém o corpo em movimento e pode ser consumido ao longo dele.

Foram elaboradas sequências didáticas curtas (durações de 50 a 100 min cada), focadas na superação dessas concepções e da confusão observada entre as grandezas cinemáticas posição, velocidade e aceleração. Subliminarmente, o material endereça também o letramento científico dos estudantes. Essas intervenções pedagógicas foram construídas sobre a base sólida de elementos comprovadamente efetivos de métodos ativos de ensino e de princípios bem-estabelecidos da psicologia cognitiva. Em particular, foram utilizadas discussões entre estudantes (similares àquelas da metodologia *Peer Instruction*) sobre problemas concretos, interessantes e moderadamente desafiadores para esse público, considerando-se o direcionamento do professor. As atividades foram elaboradas com a estratégia de levar o estudante a explicitar as suas concepções sobre o movimento para, então, confrontá-las com aquelas dos colegas e, na sequência, com a sua própria análise de resultados experimentais.

O material didático desenvolvido foi utilizado com turmas da primeira série do Ensino Médio em uma escola estadual e em outra do sistema federal. As observações feitas na sala de aula por observadores independentes e a análise das respostas dos estudantes evidenciaram que as sequências didáticas promoveram poderosamente o engajamento dos discentes e que o processo foi instrutivo para eles. Essa inferência baseia-se no fato de que frequentemente as discussões em grupo levaram os estudantes a respostas corretas, mesmo em questões nas quais nenhum estudante em sala, individualmente, havia respondido.

Em suma, as sequências didáticas elaboradas são muito promissoras para auxiliar o estudante a incorporar os pilares da mecânica newtoniana na sua estrutura cognitiva – uma empreitada reconhecidamente difícil, como se descreve na literatura científica. Contudo, parece importante que um eventual futuro trabalho de pesquisa investigue sistematicamente a efetividade dos nossos materiais, utilizando questionário padronizado, por exemplo, o FCI como pré e pós-teste. Acreditamos que a estratégia didática utilizada neste trabalho, baseada em elementos de métodos ativos de ensino e em fundamentos de cognição, se aplique proveitosamente no ensino de outros conteúdos.

REFERÊNCIAS

AMABIS, J. M. *et al.* **MODERNA PLUS: Ciências da Natureza e Suas Tecnologias: Universo e evolução.** 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020. 160 p.

ANNIS, L. F. The processes and effects of peer tutoring. **Human Learning: Journal of Practical Research & Applications**, v. 2, n. 1, p. 39-47, 1983.

ARAÚJO, I. S.; MAZUR, E. Peer instruction: uma metodologia ativa de ensino-aprendizagem. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 30, n. 2, p. 362-384, ago. 2013.

ARISTÓTELES. **História dos Animais.** Tradução de A. L. Peck e E. S. Forster. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1937.

ARISTÓTELES. Aristotle II. In: ADLER, M. J. (Ed.). **Great Books of the Western World.** Chicago: W. Benton, 1952

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view.** 2. ed. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1978. 733 p.

BISCOULA, G.J.; BÔAS, N.V.; DOCA, R.H. **Física.** 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

BRANSFORD, J. D.; BROWN, A. L.; COCKING, R. R. **How people learn: brain, mind, experience, and school.** Washington, D.C.: National Academy Press, 2000.

CAP-COLUNI. **Projeto político-pedagógico.** Viçosa, MG: CAP-COLUNI, 2018. Disponível em: <https://www.coluni.ufv.br/wp-content/uploads/2019/08/PPP.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2020.

CINDRA, J. L. Um esboço da história do conceito de trabalho virtual e suas aplicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 3601-1–3601-12, ago. 2008.

CLEMENT, J. Students' preconceptions in introductory mechanics. **American Journal of Physics**, College Park, v. 50, n. 1, p. 66–71, 1982.

CROUCH, C. H. *et al.* Peer Instruction: Engaging Students One-on-One, All At Once. **Research-Based Reform of University Physics**, v. 1, n. 1, p. 40-95, 2007.

CROUCH, C. H.; MAZUR, E. Peer instruction: ten years of experience and results. **American Journal of Physics**, College Park, v. 69, n. 9, p. 970-977, sep. 2001

FERNANDES, S. A.; TALIM, S. L. Tradução e Validação do Teste “Force Concept Inventory”. In: XVIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO EM FÍSICA, 2009, Vitória, ES. **Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino em Física.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2009.v.1.p.1-8.

FERNANDES, S. A. **Um Estudo Sobre a Consistência de Modelos Mentais Sobre Mecânica de Estudantes de Ensino Médio**. 2011. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**, College Park, v. 66, n. 1, p. 64-74, jan. 1998

HALLOUN, I.; HESTENES, D. Common sense concepts about motion. **American Journal of Physics**, College Park, v. 53, n. 11, p. 1056-1065, nov. 1985a.

HALLOUN, I.; HESTENES, D. The initial knowledge state of college physics students. **American Journal of Physics**, College Park, v. 53, n. 11, p. 1043-1055, 1985b.

HENDERSON, C.; DANCY, M. The impact of physics education research on the teaching of introductory quantitative physics in the United States. **Physical Review Special Topics – Physics Education Research**, College Park, v. 5, n. 2, 020107, dez. 2009. Disponível em: <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.5.020107>. Acesso em: 10 out. 2023.

HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force Concept Inventory. **The Physics Teacher**, College Park, v. 30, n. 3, p. 141-158, mar. 1992.

JAMES, M. C.; WILLOUGHBY, S. D. Listening to students conversations during clicker questions. **American Journal of Physics**. College Park, v. 79, n. 1, p. 123-132, Jan. 2011.

JAMES, M. C. The effect of grading incentive on students discourse in peer instruction. **American Journal of Physics**. College Park, v. 74, n. 8, p. 689-691, 2006.

LASRY, N. Clickers or flashcards: is there really a difference? **The Physics Teacher**. College Park, v. 46, n. 4, p. 242-244, abr. 2008.

LEMOS, N. A. **Mecânica analítica**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2007. 386 p.

LOPES, A. M. **Combinando metodologia de ensino Peer Instruction com Just-in-Time Teaching para o ensino de Física**. 2016. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

MAZUR, E. **Peer Instruction: A User's Manual**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997. 257p.

MULLER, M. G. et al. Uma revisão da literatura acerca da implementação da metodologia interativa de ensino *Peer Instruction* (1991 a 2015). **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 39, n. 3, e3403, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Vv8MmjJWmm5B3HjJ8hYwKCJ/?lang=pt>. Acesso em: 4 set. 2023

NASCIMENTO, L. C. **A metodologia peer instruction: eficácia e o papel do estudo pré-aula no ensino de Física**. 2020. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

PACCA, J. L. A. **A lei da inércia: planejamento pedagógico e aprendizagem**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2018. 184 p.

PIAGET, J. **A equilibrção das estruturas cognitivas: problema central do desenvolvimento**. Tradução de Marion Merlone dos Santos Penna. Rio de Janeiro: Zahar, 1976. 175 p.

PIAGET, J. **O nascimento da inteligência na criança**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982. 392 p.

PRINCÍPIO d'Alembert – aula 3. **Produção: Mecânica Analítica UFF**. [S. l.], 17 nov. 2010. 1 vídeo (9 min 54 s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IRqWeELIQ6g&list=PL79E0E8A0ADED27BE&index=9>. Acesso em: 28 maio 2024.

RUHL, K. L.; HUGHES, C. A.; SCHLOSS, P. J. Using the pause procedure to enhance lecture recall. **Education and Special Education**, v. 10, p. 14-18, 1987.

SAMHITA, L.; GROSS, H. J. The “Clever Hans Phenomenon” revisited. **Communicative & Integrative Biology**, v. 6, n. 6, p. e27122, 2013.

SILVA, R.M.O. **Estudantes do Cap-Coluni: trajetórias e vivências escolares dos “mais” excelentes dentre os excelentes**. 2020. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

SIMON, H.A. **Sciences of the artificial**. 3rd ed. Cambridge, MA: MIT Press, 1996. 231 p.

THORNTON, S. T.; MARION, J. B. **Dinâmica clássica de partículas e sistemas**. Traduzido por Jacira C. B. de Freitas. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Cap-Coluni se destaca como melhor escola pública do país e Cedef fica entre melhores de Minas**. Viçosa, MG: UFV, 2019.

Disponível em:

<https://www2.dti.ufv.br/noticias/scripts/exibeNoticiaMulti.php?codNot=30840#:~:text=Na%20an%C3%A1lise%20da%20reportagem%20da,dos%20alunos%20de%20708%2C05>. Acesso em: 19 jun. 2025.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205–221, 1979.

VÍNCULOS – aula 2. **Produção: Mecânica Analítica UFF**. [S. l.], 17 nov. 2010. 1 vídeo (9 min 52 s). Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=1OmqhjgfZAY&list=PL79E0E8A0ADED27BE&index=2>. Acesso em: 28 maio 2024.

VÍNCULOS – aula 5. **Produção: Mecânica Analítica UFF**. [S. l.], 18 nov. 2010. 1 vídeo (9 min 21 s). Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=Oh7JhmSWxjU&list=PL79E0E8A0ADED27BE&index=5>. Acesso em: 28 maio 2024.

VÍNCULOS – aula 6. **Produção:** Mecânica Analítica UFF. [S. l.], 18 nov. 2010. 1 vídeo (7 min 16 s). Disponível em:
https://www.youtube.com/watch?v=G031YJ_P4m8&list=PL79E0E8A0ADED27BE&index=6. Acesso em: 28 maio 2024.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente:** o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

WIKIPÉDIA. **Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Viçosa.** Ago. 2019. Disponível em:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Col%C3%A9gio_de_Aplica%C3%A7%C3%A3o_da_Universidade_Federal_de_Vi%C3%A7osa. Acesso em: 2 ago. 2020.

WILLINGHAM, D. T. **Por que os alunos não gostam da escola?** Respostas da ciência cognitiva para tornar a sala de aula atrativa e efetiva. Tradução de Marcos V. M. da Silva. Porto Alegre: Artmed, 2011. 206 p.

WOELK, K. Optimizing the use of personal response devices (clickers) in large-enrollment introductory courses. **Journal of Chemical Education.** Washington, v. 85, n. 10, p. 1400-1405, oct. 2008.

ZYLBERSZTAJN, A. **A evolução das concepções sobre força e movimento,** s/d

APÊNDICE A – Produto educacional

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 13

PRODUTO EDUCACIONAL

GUIA PARA UTILIZAÇÃO DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS SOBRE CINEMÁTICA E
LEIS DE NEWTON BASEADAS EM MÉTODOS ATIVOS E PSICOLOGIA COGNITIVA

AUTORES: Iara Francisca Vieira, Álvaro José Magalhães Neves

APRESENTAÇÃO

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: UMA PROPOSTA DE INTERVENÇÃO NA COMPREENSÃO DOS FUNDAMENTOS DE MECÂNICA USANDO MÉTODOS ATIVOS, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 13 – UFV, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este material destina-se a professores de Física. Ele é um guia auxiliar para docentes interessados em utilizar as sequências didáticas desenvolvidas pela mestrandia Iara Francisca Vieira sob a orientação do professor Álvaro José Magalhães Neves, durante o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Essas sequências foram elaboradas para serem utilizadas em turmas do primeiro ano do Ensino Médio. Todavia, parece crível que também possam ser utilizadas no Ensino Superior, em disciplinas introdutórias de mecânica. Em um teste preliminar, essas sequências didáticas despertaram engajamento e interesse nos estudantes, tanto durante quanto após sua utilização. Por meio deste material, espera-se que esses benefícios sejam difundidos a outros estudantes e que o mesmo sirva de inspiração para novos projetos de ensino.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Lista de Figuras

Figura 1 – Dinâmica da instrução pelos colegas.....	207
Figura 2 – Modelo simplificado da mente.....	208
Figura 3 — Ilustração de um tabuleiro com três hastes: 1, 2 e 3.....	209
Figura 4 — Organização, na mente, das informações necessárias para a resolução do problema dos discos, apresentado na figura 3.....	209
Figura 5 – Problema da cerimônia do chá.....	210
Figura 6 — Analogia entre o problema dos discos e o problema do chá.....	211
Figura 7 – Slide de abertura da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	216
Figura 8 – Slide 2 e 3 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	218
Figura 9 – Slide 4 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	219
Figura 10 – Slide 5 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	220
Figura 11 – Slide 6 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	221
Figura 12 – Slide 7 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	223
Figura 13 – Slide 8 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	224
Figura 14 – Slide 9 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	225
Figura 15 – Slide 10 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	226
Figura 16 – Slide 11 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	227
Figura 17 – Slide 12 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	229
Figura 18 – Slide 13 (com vídeo) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton....	231
Figura 19 – Slides 14 e 15 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	232
Figura 20 – Slides 16 e 17 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	233
Figura 21 – Slide 18 (com vídeo) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton...	234
Figura 22 — Slides 19 e 20 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.	235
Figura 23 – Slides 21 (parte a) e 22 (parte b) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	236
Figura 24 - Slides 23 e 24 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	237
Figura 25 – Slides 25 e 26 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	239
Figura 26 – Slide 27 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	240

Figura 27 – Slide 28 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	240
Figura 28 – Slide 29 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	241
Figura 29 – Slide 30 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	242
Figura 30 – Slide 31 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	243
Figura 31 – Slide 32 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	244
Figura 32 — Slide 33 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	244
Figura 33 — Slide 34 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	245
Figura 34 – Slide 35 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	246
Figura 35 – Slide 36 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	246
Figura 36 – Slide 37 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton.....	247
Figura 37 – Slide 1 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	248
Figura 38 – Slide 2 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	250
Figura 39 – Slide 3 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	251
Figura 40 – Slide 4 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	251
Figura 41 – Slide 5 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	253
Figura 42 – Slide 6 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	254
Figura 43 – Slide 7 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	254
Figura 44 – Slide 8 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	256
Figura 45 – Slide 9 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton....	257
Figura 46 – Slide 10 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton..	257
Figura 47 – Slide 11 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton...	258
Figura 48 – Slide 12 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	259
Figura 49 – Slide 13 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	259
Figura 50 – Slides 14 e 15 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	260
Figura 51 – Slide 16 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	262
Figura 52 – Slide 17 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	263
Figura 53 – Slide 18 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton..	265
Figura 54 – Slide 19 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	266
Figura 55 – Slide 20 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.....	267
Figura 56 – Primeiro teste conceitual da sequência didática sobre cinemática.....	268
Figura 57 – Segundo teste conceitual da sequência didática sobre cinemática.....	269
Figura 58 – Ilustração de uma fotografia estroboscópica do salto de um atleta.....	269
Figura 59 – Terceiro teste conceitual da sequência didática sobre cinemática.....	270

Figura 60 – Quarto Terceiro teste conceitual projetado para os alunos durante a sequência didática sobre cinemática.....	270
Figura 61 – Sequência de fotografias estroboscópicas de uma bola de bilhar deslocando-se no sentido da seta.....	271
Figura 62 – Quinto teste conceitual da sequência didática sobre cinemática.....	272

Sumário

1. Introdução.....	204
2. Revisão de Literatura.....	205
2.1 A teoria construtivista de Jean Piaget.....	205
2.2 A Dinâmica de uma Aula com a Metodologia PI.....	206
2.3 O Modelo da Mente.....	207
2.4 O Poder de Criar a Expectativa de Avaliação.....	211
2.5 O Poder das Histórias.....	212
2.6 O Efeito da Avaliação Por Participação e Não Por Acerto.....	213
3. Sequências didáticas.....	215
3.1 Sequência didática sobre a segunda lei de Newton e sua aplicação.....	215
3.2 Sequência didática sobre a primeira lei de Newton e sua aplicação.....	248
3.3 Sequência didática sobre cinemática e sua aplicação.....	267
4. Considerações finais.....	274
Referências.....	275

1. Introdução

Provavelmente, todo professor de Física se surpreende com frequência com os equívocos que os seus estudantes cometem ao tratar de situações e problemas da sua disciplina que ele considera triviais, em vista daquilo que procurou ensinar. No caso de questões sobre o movimento, é comum que o aluno, apesar de saber enunciar as leis de Newton perfeitamente, use nas suas respostas ideias reminiscentes das concepções aristotélicas e medievais. Uma série longa e importante de pesquisas sobre o ensino de Física, iniciada na década de 1970 (Viennot, 1979; Clement, 1982; Halloun; Hestenes, 1985a, 1985b; Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992), revelou que muitos desses erros decorrem do uso pelo estudante de um modelo próprio (uma teoria pessoal) sobre os fenômenos físicos, criado a partir da sua experiência cotidiana com eles. Esse conjunto de crenças e intuições, incompatíveis com o conhecimento científico estabelecido, vem sendo estudado ao longo de quatro décadas. Ele é denominado “concepção alternativa”, “concepção espontânea”, “concepção intuitiva”, ou “teoria de senso comum” (Pacca, 2018). Esse trabalho de pesquisa mostrou que as concepções alternativas relacionadas com a mecânica newtoniana são extremamente resistentes à mudança por meio das abordagens didáticas tradicionais, que não as levam em conta, independentemente da habilidade do professor (Hestenes; Wells; Swackhamer, 1992).

Elaboramos três sequências didáticas com o propósito de auxiliar o estudante a superar dificuldades específicas: as concepções alternativas segundo as quais 1) a velocidade de um corpo é proporcional à força resultante que atua sobre ele; 2) um agente que exerce força sobre um corpo, transmite a ele algo como “um combustível” (o “impetus” das teorias medievais) que sustenta o seu movimento e 3) a confusão entre posição e velocidade, assim como entre velocidade e aceleração. O material desenvolvido endereça também o letramento científico do estudante. Ele foi desenvolvido a partir de elementos comprovadamente efetivos de métodos ativos de ensino e de princípios bem-estabelecidos da psicologia cognitiva.

Neste apêndice, apresentamos um passo a passo para a aplicação dessas sequências didáticas, explicando a lógica e o propósito de cada etapa. Incluímos, também, as folhas de atividades e uma síntese da literatura científica que fundamenta essas sequências.

2. Revisão de literatura

2.1 A teoria construtivista de Jean Piaget

Jean Piaget desenvolveu uma das mais influentes teorias do desenvolvimento cognitivo, cuja base epistemológica se ancora na ideia de que o conhecimento é construído ativamente pelo sujeito em interação com o meio. Sua teoria, conhecida como **epistemologia genética**, propõe que o desenvolvimento intelectual ocorre por meio de estágios sequenciais e qualitativos, nos quais a criança reorganiza progressivamente suas estruturas mentais (Piaget, 1976).

Segundo Piaget, a aprendizagem é resultado de um processo de adaptação, que envolve dois mecanismos fundamentais: a **assimilação** e a **acomodação**. A assimilação refere-se à incorporação de novas informações a estruturas cognitivas já existentes, enquanto a acomodação implica a modificação dessas estruturas diante de novas experiências que não podem ser compreendidas a partir dos esquemas anteriores. A interação entre esses dois processos promove o que Piaget chama de **equilíbrio**, uma busca constante por estabilidade cognitiva (Piaget, 1982).

Outro elemento essencial da teoria piagetiana é o papel do **conflito cognitivo** como motor do desenvolvimento. Piaget argumenta que o surgimento de contradições internas — frequentemente desencadeadas por interações com o meio ou com outras pessoas — leva o sujeito a questionar suas concepções anteriores, promovendo reestruturações mentais mais complexas e adaptadas.

No contexto educacional, a teoria de Piaget implica uma visão de ensino centrada no aluno como protagonista do processo de aprendizagem. O conhecimento não pode ser simplesmente transmitido pelo professor, mas precisa ser reconstruído pelo estudante a partir de sua atividade intelectual. Nesse sentido, métodos que favorecem a resolução de problemas, o confronto de ideias e a investigação ativa são mais eficazes para promover aprendizagens significativas.

Quando se trata do ensino de Física — disciplina que lida com conceitos abstratos e frequentemente contraintuitivos —, a proposta construtivista de Piaget oferece uma base sólida para o uso de estratégias didáticas que promovam a reflexão, a argumentação e a revisão conceitual. A aprendizagem ocorre, portanto, como resultado da interação entre o

sujeito e o problema, sendo mediada por processos cognitivos internos desencadeados por situações desafiadoras.

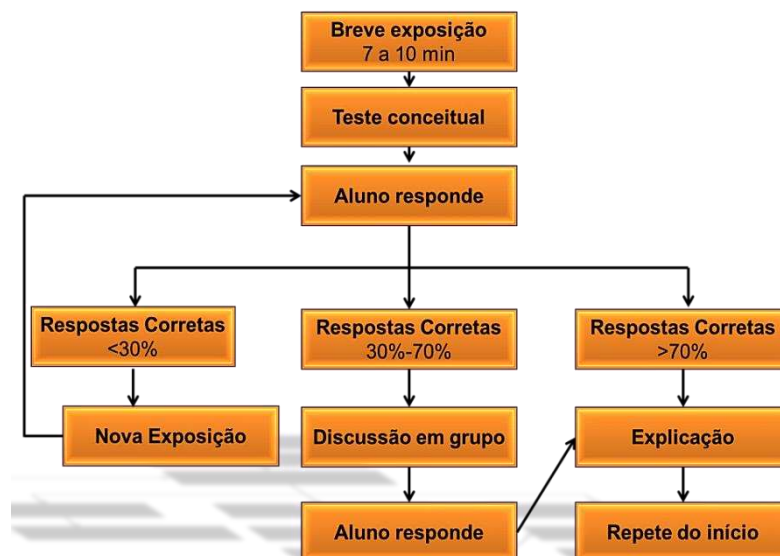
2.2 A dinâmica de uma aula com a metodologia PI

Esta seção descreve a dinâmica de aula ministrada com a metodologia *peer instruction*, segundo Mazur (1997), Crouch e Mazur (2001), Crouch *et al.* (2007), Lasry (2008), Lasry, Mazur, Watkins (2008), Araújo e Mazur (2013), Muller (2013) e Lopes (2016). Ressalta-se que existem na literatura científica descrições sutilmente distintas desta.

Antes de uma aula ministrada com a metodologia *peer instruction*, o professor informa aos discentes quais os tópicos do livro-texto devem ser estudados previamente. Essa orientação possibilita que os estudantes se preparem antecipadamente para a aula, que apresentará exemplos adicionais e concentrará o foco nos tópicos mais críticos e relevantes. A dinâmica de uma aula PI está resumida na figura 1 a seguir. Inicialmente, o professor realiza uma explanação breve, com duração entre 7 e 10 minutos, acerca de um dos tópicos que os estudantes foram orientados a estudar previamente, que seja considerado importante ou que tenha se mostrado desafiador para os discentes. Logo após, ele apresenta um teste conceitual de múltipla escolha relacionado a esse tópico. Em seguida, os estudantes dispõem de cerca de 2 minutos para pensar individualmente e em silêncio sobre o problema. Ao final desse tempo, os discentes fornecem individualmente sua resposta. Para isso, diferentes estratégias podem ser utilizadas incluindo o levantamento de mãos, *flashcards* (cartões), *clikers*, dispositivos com acesso à internet e urnas de votação. O procedimento subsequente depende do percentual de respostas corretas. Se o percentual de acerto for superior a 70% (como mostra a extremidade direita da figura), o professor explica a resposta correta sem delonga e retorna à etapa inicial, realizando uma exposição curta sobre um tópico distinto. Caso o percentual de acerto seja inferior a 30% (conforme indicado na extremidade esquerda da figura), o professor aprimora a sua explanação, introduzindo novos detalhes, e os discentes respondem novamente ao teste, de modo individual. Para percentuais de acertos compreendidos entre 30% e 70% (área central da figura), o professor incentiva as discussões em pequenos grupos, formados por 2 a 5 estudantes. Durante esse momento, o professor e eventuais assistentes circulam pela sala de aula, ouvindo os estudantes, incentivando e participando das discussões, sem fornecer a resposta correta. Após alguns minutos, os estudantes fornecem individualmente as suas

respostas, e o professor encerra o ciclo com uma explicação breve da resposta correta. Na sequência, o docente inicia um novo ciclo, retornando ao procedimento inicial.

Figura 1 – Dinâmica da instrução pelos colegas

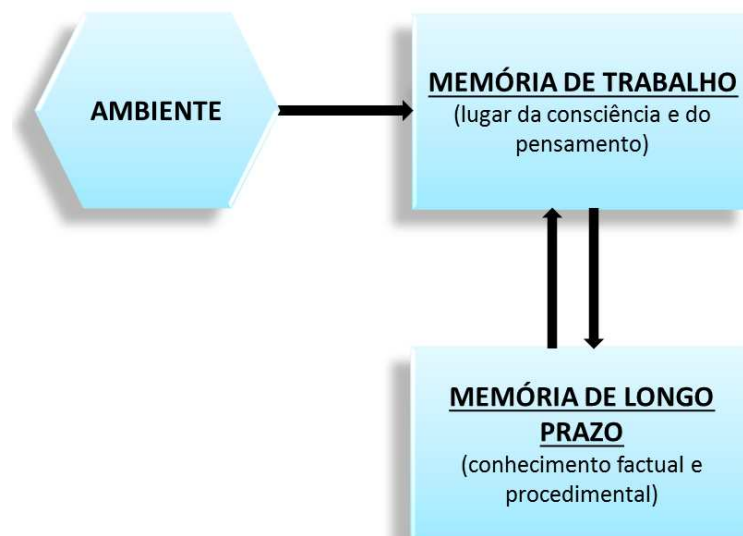


Fonte: LOPES, 2016, figura 2.1, p.7. Adaptado de Lasry (2008).

2.3 O modelo da mente

Um modelo simplificado da mente humana é mostrado na figura 2, abaixo. À esquerda encontra-se o **ambiente**, repleto de coisas para serem vistas, ouvidas, resolvidas, entre outras. À direita, na parte superior, está a memória de trabalho, que pode ser considerada como sinônimo da consciência. Ela mantém apenas as informações sobre as quais se está pensando no momento. Logo abaixo, encontra-se a **memória de longo prazo**, que armazena tanto os fatos (conhecimento factual) quanto os procedimentos necessários para a realização de determinadas tarefas (conhecimento procedimental). Conforme ilustrado na figura, as informações da memória de longo prazo residem fora da consciência. Essas informações apenas se tornam conscientes quando se pensa sobre elas. Por exemplo, o fato de que um urso polar é branco permanece silenciosamente guardado na memória de longo prazo e só é trazido à memória de trabalho quando se faz uma pergunta sobre a cor desse animal (Willingham, 2011).

Figura 2 – Modelo simplificado da mente



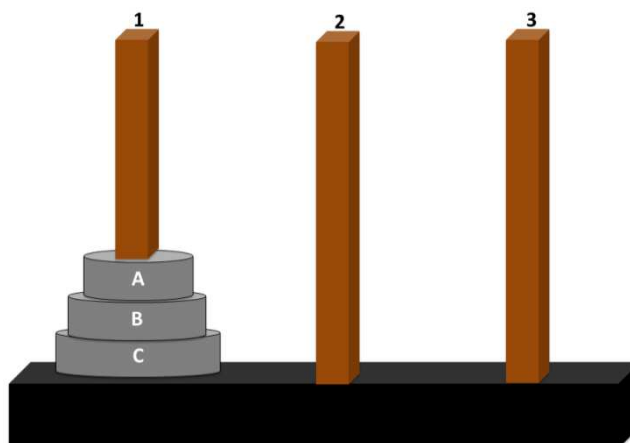
Fonte: WILLINGHAM, 2011, figura 1.6, p.24.

Legenda: À esquerda, encontra-se o ambiente. À direita, localizam-se a memória de trabalho, na parte superior e, a memória de longo prazo, na parte inferior.

O pensamento ocorre quando as informações presentes no ambiente e na memória de longo prazo são combinadas na memória de trabalho. Em geral, as informações obtidas do ambiente não são suficientes para a resolução de um problema e, por isso, precisam ser completadas por dados armazenados na memória de longo prazo.

Um problema que ilustra como o pensamento acontece é apresentado na figura 8, a seguir. “Dentro da memória de trabalho, [...] você precisa imaginar e avaliar os potenciais movimentos. Ao mesmo tempo, você precisa lembrar as regras no tocante a quais movimentos são permitidos” (Willingham, 2011, p. 26). A figura 3, abaixo, mostra configuração da mente no problema dos discos. Como mostrado na figura, este problema não requer nenhuma informação da memória de longo prazo.

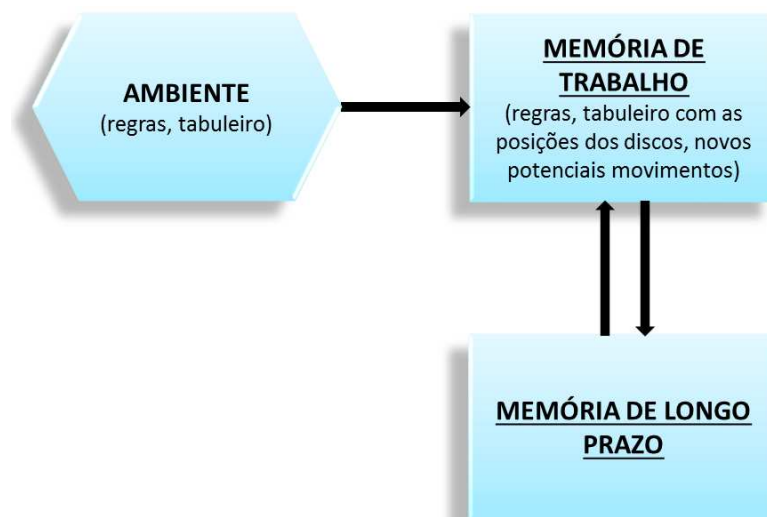
Figura 3 — Ilustração de um tabuleiro com três hastes: 1, 2 e 3



Fonte: WILLINGHAM, 2011, figura 1.7, p.25

Legenda: Na haste 1 encontram-se três discos (A, B e C) dispostos, de baixo para cima, em ordem decrescente de raio. O objetivo é mover todos os discos da haste 1 para a haste 3, contudo, pode-se mover somente um disco por vez e não se pode colocar o disco de raio maior sobre um disco de raio menor. Na haste 1 encontram-se três discos (A, B e C) dispostos, de baixo para cima, em ordem decrescente de raio. O objetivo é mover todos os discos da haste 1 para a haste 3, contudo, pode-se mover somente um disco por vez e não se pode colocar o disco de raio maior sobre um disco de raio menor.

Figura 4 — Organização, na mente, das informações necessárias para a resolução do problema dos discos, apresentado na figura 3



Fonte: WILLINGHAM, 2011, figura 1.7, p.26

Para que um trabalho mental seja efetuado com êxito, é crucial ter as informações corretas no ambiente, na memória de longo prazo e na memória de trabalho. Além disso, é de igual importância dispor de espaço suficiente na memória de trabalho.

O problema apresentado a seguir (Figura 5) ilustra como uma memória de trabalho superlotada dificulta o pensamento. A memória de trabalho tem uma capacidade limitada.

Ocorre, porém, que o problema abaixo contém mais informações do que a memória de trabalho consegue armazenar. Assim, é extremamente difícil compreender e tentar resolver esse problema sem que seja necessário lê-lo outras vezes mais.

Figura 5 – Problema da cerimônia do chá

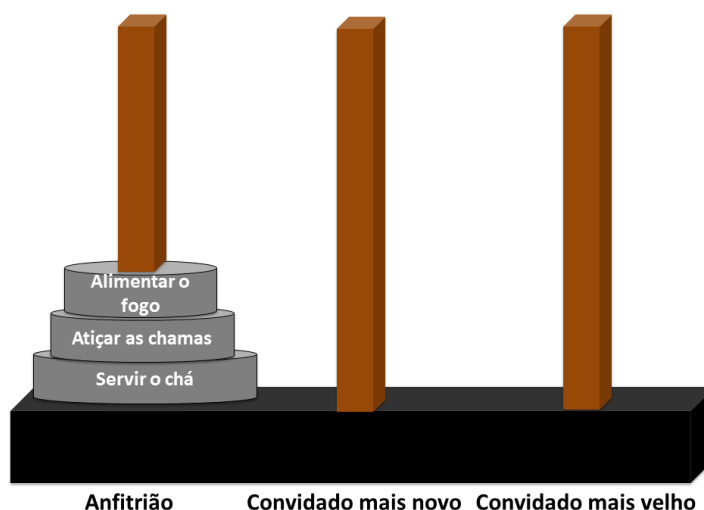
Nas pousadas de certas aldeias do Himalaia, é praticada uma refinada cerimônia do chá. A cerimônia envolve o anfitrião e exatamente dois convidados, ninguém mais e ninguém menos. Quando os convidados chegam e acomodam-se à mesa, o anfitrião realiza para eles três tarefas. Estas são listadas de acordo com a nobreza que os nativos atribuem a elas: alimentar o fogo, atizar as chamas e servir o chá. Durante a cerimônia, qualquer um dos presentes pode perguntar *“Honrado senhor, poderia eu realizar esta onerosa tarefa em seu lugar?”*. Entretanto, uma pessoa pode solicitar a alguém apenas a mais nobre das tarefas que o outro está executando. Além disso, se uma pessoa está realizando uma determinada tarefa, ela não pode solicitar uma tarefa que seja mais nobre do que a tarefa menos nobre que já está sendo executada. O costume impõe que, ao término da cerimônia, todas as tarefas tenham sido transferidas do anfitrião ao mais velho dos convidados. Como isso pode acontecer?

Fonte: WILLINGHAM, 2011, p. 27. (Adaptado de Simon, 1996, p.94)

O problema anterior é essencialmente idêntico àquele dos discos, mostrado na figura 3. O leitor certamente teve mais facilidade para compreender e resolver o problema dos discos do que o da cerimônia do chá. Isso se explica porque muitas das informações presentes no problema do chá, que precisariam ser manipuladas na memória de trabalho estão, no problema dos discos, disponíveis no ambiente sob a forma de imagens. Assim, foi possível liberar espaço na memória de trabalho que pôde, então, armazenar todas as informações necessárias à resolução deste problema.

A analogia entre o problema dos discos e o da cerimônia do chá está mostrada na figura 6, abaixo. Como se pode observar, as hastes 1, 2 e 3 no tabuleiro representam, nesta ordem, o anfitrião, o convidado mais novo e o convidado mais velho. Já os discos A, B e C representam, respectivamente, as tarefas de alimentar o fogo, atizar as chamas e servir o chá.

Figura 6 — Analogia entre o problema dos discos e o problema do chá



Fonte: WILLINGHAM, 2011, figura 1.9, p.28

Legenda: As hastes 1, 2 e 3 do problema dos discos representam o anfitrião, o convidado mais novo e o convidado mais velho no problema do chá. Os discos no problema da figura 8 representam, no problema do chá, as tarefas de alimentar o fogo, atiçar as chamas e servir o chá, respectivamente.

2.4 O poder de criar a expectativa de avaliação

Como será mostrado nas subseções 3.1 e 3.2, ambas as sequências didáticas sobre as leis de Newton têm início com a entrega de uma folha aos estudantes. Como será explicado nas referidas seções, o objetivo é criar nos estudantes a expectativa de que serão questionados e, assim, aumentar o foco. Essa estratégia está fundamentada na experiência relatada a seguir.

Durante um *workshop* acerca dos benefícios da utilização *clickers*, realizado para funcionários, docentes e discentes de pós-graduação, o palestrante realizou um teste com o objetivo de sondar o engajamento desse público. O teste envolveu a distribuição de *clickers* para exatamente metade da plateia. Após, uma explicação sobre uma nomenclatura de química relativamente simples foi realizada pelo palestrante que, em seguida, projetou uma pergunta relacionada ao assunto. O percentual de acerto foi de 88%. Uma vez mais a nomenclatura foi explicada e, logo após, uma nova pergunta foi projetada. Antes, porém, de responder à questão, as pessoas que dispunham de *clickers* foram solicitadas a emprestar para aqueles que não tinham. Esperava-se que o percentual de acerto aumentasse, pois o segundo grupo de respondentes ouviu duas explicações sobre a nomenclatura. Além disso, a segunda pergunta era similar à primeira. Contudo, o percentual de acerto diminuiu para 56%. A explicação é que, o segundo grupo, por não prever que teria que responder a alguma pergunta,

engajou-se menos que o primeiro. Assim, o teste revelou que a expectativa de ser questionado contribui para ampliar o engajamento (Woelk, 2008).

2.5 O poder das histórias

A mente humana está fortemente orientada para a construção de sentido, e as histórias figuram entre as estratégias mais eficazes para promover a aprendizagem. Não por acaso, desde a infância, as histórias são um dos primeiros recursos utilizados para ensinar e transmitir valores, e continuam sendo ferramentas eficazes mesmo em contextos mais avançados de aprendizagem.

Segundo Willingham (2011), as histórias são “psicologicamente privilegiadas” na mente, ou seja, recebem um tratamento distinto em relação a outros tipos de informação. Embora não haja consenso absoluto sobre sua definição, diversas fontes apontam para quatro elementos recorrentes: causalidade, conflito, complicação e personagens. A causalidade expressa uma relação de causa e efeito entre os acontecimentos. No exemplo citado por Willingham (2011, p. 69) — “Eu vi Jane; deixei a casa” —, a causa para ter deixado a casa foi o encontro com Jane. O conflito representa os obstáculos que um personagem enfrenta para alcançar determinado objetivo, como um pneu furado ou uma tempestade quando é preciso chegar a um destino em horário fixado. As complicações consistem nos subproblemas decorrentes do objetivo principal; no exemplo do pneu, o motorista precisa de um macaco para realizar a troca, mas, por não tê-lo, precisa conseguir um emprestado. Os personagens, por sua vez, constituem o núcleo em torno do qual a narrativa se desenvolve. De acordo com Willingham (2011), histórias eficazes apresentam personagens interessantes, cujas características são reveladas por meio de suas ações, e não por descrições explícitas. Um bom contador de histórias mostra, em vez de dizer, quem são essas figuras. Por exemplo, na primeira aparição da Princesa Leia em *Star Wars*, ela enfrenta uma tropa de soldados, o que torna evidente sua coragem sem que isso precise ser explicitado.

As vantagens de comunicar algo por meio de uma história são três: facilitar a compreensão, favorecer a lembrança e despertar interesse. A compreensão é facilitada porque sua estrutura é familiar ao público; o ouvinte sabe, por exemplo, que há uma causa para cada acontecimento e, caso ela não seja revelada de imediato, buscará inferi-la. No exemplo citado por Willingham (2011), “Eu vi Jane; deixei a casa”, se não for informado que Jane era um ex-amor, o ouvinte tentará compreender por que vê-la foi motivo para sair. O interesse é

despertado quando a história exige inferências em nível de dificuldade adequado — nem excessivamente simples nem demasiadamente complexas —, como discutido anteriormente na subseção 2.1. O esforço mental na tentativa de inferir contribui para a retenção, pois, como destacado por Willingham, “a memória é um resíduo do pensamento”.

É importante ressaltar que Willingham (2011) não defende que o professor deva se limitar a contar histórias — embora não haja nada de negativo nessa prática — mas que estruture suas aulas segundo a lógica de uma história, com causas, conflitos, complicações e personagens, independentemente de qual método utilize para ensinar.

Com base no exposto acima, esta pesquisa recorreu ao uso de uma história para apresentar o método científico no contexto da sequência didática sobre a segunda lei de Newton, como destacado em 3.1, com o intuito de despertar o interesse nos estudantes.

2.6 O efeito da avaliação por participação e não por acerto

Como será destacado no capítulo 3, nas sequências didáticas desenvolvidas nesta pesquisa, optou-se por não atribuir nota com base no número de respostas corretas, mas sim — nos casos em que se considerou necessário avaliar — pela participação dos estudantes nas atividades. Essa decisão se fundamenta em evidências da literatura que investigam o impacto de diferentes formas de incentivo sobre a qualidade das interações e da aprendizagem em metodologias ativas, como o *peer instruction*.

James (2006) analisou o efeito de oferecer incentivos baseados no acerto das respostas em comparação com incentivos baseados apenas na participação. Os resultados mostraram que, quando a avaliação é vinculada ao acerto, os estudantes tendem a adotar estratégias voltadas prioritariamente à obtenção da resposta correta, em detrimento da exploração conceitual do problema. Essa postura reduz a disposição para compartilhar hipóteses parciais ou ideias que ainda não estão plenamente formuladas, o que pode limitar a riqueza das discussões e a ocorrência de explicações mais profundas entre pares. Por outro lado, quando a pontuação está atrelada apenas à participação, observou-se maior abertura para o debate e maior diversidade de argumentos apresentados, favorecendo a construção coletiva do conhecimento.

Em estudo posterior, James e Willoughby (2011) aprofundaram essa análise ao investigar as conversas entre estudantes durante questões com *clickers*. Os autores identificaram que a ausência de pressão para responder corretamente — quando a nota

dependia apenas da participação — encorajava um diálogo mais colaborativo, no qual os estudantes se sentiam mais à vontade para expor dúvidas, levantar hipóteses alternativas e revisar coletivamente raciocínios equivocados. Esse ambiente reduzia a ansiedade associada à avaliação e promovia um espaço mais propício à aprendizagem conceitual, alinhando-se aos objetivos do *peer instruction* e de outras metodologias centradas no aluno.

Consequentemente, considerando que as sequências didáticas aqui propostas exploram a discussão entre estudantes, a explicitação de ideias e a revisão de concepções alternativas, a avaliação por participação se mostra mais coerente com esses objetivos. Tal abordagem não apenas diminui a pressão associada ao erro, como também reforça que o valor da atividade está no processo de reflexão e troca de ideias, e não unicamente no produto final representado pela resposta correta.

3. Sequências didáticas

Objetivos:

- Auxiliar na compreensão do efeito da força resultante no movimento de um corpo;
- Demonstrar que a força resultante determina aceleração, não velocidade de um corpo;
- Demonstrar quantitativamente a 2ª lei de Newton;
- Demonstrar que um corpo pode se mover, ainda que a força resultante sobre ele seja nula;
- Praticar diferentes representações do movimento (gráfica, verbal, escrita e matemática);
- Auxiliar na diferenciação e na compreensão do significado das grandezas cinemáticas;
- Praticar e promover o método científico.

3.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A SEGUNDA LEI DE NEWTON E SUA APLICAÇÃO

Duração: 100-120 minutos, idealmente com um intervalo no meio.

Materiais: folha de atividades (veja apêndice B), data-show e régua.

Cena 1 - Recepção (Intervenção 2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Enquanto o professor recebe os estudantes que chegam à sala de aula, ele mantém projetada uma imagem vibrante (exemplo na figura 7 abaixo), que remete ao tema da sequência didática que será realizada.

Figura 7 – Slide de abertura da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

Explicação:

O objetivo aqui é criar um clima de expectativa e curiosidade, que favoreça o engajamento dos discentes nas atividades que se seguirão. Apesar da autora não ter lançado mão do expediente, há indicativos de que uma música leve, tocada no ambiente, auxilia nesse propósito.

Cena 2 – Explanação da atividade e promoção de foco (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Com os discentes acomodados em seus lugares, o professor explica rapidamente que eles farão uma atividade diferente, sobre a relação entre força e movimento, na qual eles terão oportunidade de discutir entre si as suas ideias e de examiná-las criticamente, da maneira como fazem os cientistas.
- É muito importante que o professor destaque que, ao longo do trabalho, eles irão preencher folhas de atividades, que deverão entregar ao final da aula. O docente deve também informar (ou lembrar o estudante) se, e como, as atividades serão avaliadas. Idealmente elas não devem valer nota ou a nota deve ser dada por participação, não por correção (acerto).
- Em seguida, o instrutor distribui as folhas de atividades e solicita que sejam preenchidos os campos relativos ao nome e número de matrícula. Uma versão desse material encontra-se no apêndice B.

Explicação:

Em primeiro lugar, o objetivo aqui é dar ao estudante uma ideia de conjunto daquilo

que ele fará na aula e informar qual é o seu tema: mecânica, em particular a relação entre força e movimento. A referência às folhas de atividades é de grande importância. Ela visa criar, desde o início, a expectativa de que o discente participará de forma ativa, de que ele não será um ouvinte passivo, em contraste com aquilo que ocorre na aula tradicional habitual. O fato de que a expectativa de atividade é um instrumento poderoso para criar foco e engajamento (Woelk, 2008) é discutido na subseção 2.2. A explicação de que a aula em questão e a folha de atividades associada não valem nota, ou que a nota será atribuída não pela correção das respostas do aluno, mas pela sua participação, visa criar um ambiente favorável à participação de todos e a discussões produtivas (James, 2006, 2011), conforme explicado na subseção 2.6.

Cena 3 – Focando e acordando concepções sobre movimento (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Em seguida, o professor projeta o primeiro dos slides da figura que segue e, reforçando as perguntas ali presentes, indaga retoricamente o que o estudante entende por força e como acredita que ela afeta o movimento de um corpo.
- Após um curto intervalo (cerca de meio minuto) para que o aluno reflita, projeta-se o slide seguinte (parte b da figura 8 abaixo). Ela contém uma pergunta mais concreta – *“Uma força maior atuando sobre um corpo faz com que ele atinja uma velocidade maior?”* Assim que a maioria termina a leitura, o professor lê a questão em voz alta e solicita os estudantes reflitam sobre ela individualmente e registrem as suas respostas na folha de atividades. Ele enfatiza que as respostas devem ser justificadas.
- Depois que os estudantes concluem os seus registros, alguns voluntários e “convidados” compartilham oralmente com a turma as suas ideias.
- Na sequência, solicita-se que os estudantes discutam as suas respostas por alguns minutos, em grupos de três ou quatro membros.
- Findo esse tempo, o professor orienta que cada aluno registre novamente a sua resposta, explicando que ela não precisa concordar com aquelas dos colegas, mas que possivelmente a sua resposta pode conter aprimoramentos trazidos pelo debate.

Figura 8 – Slide 2 e 3 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

Explicação:

Em termos amplos, busca-se aqui conduzir o estudante à reflexão e a discussão com os seus pares – pilares desta sequência. Como a maioria dos discentes não está habituada a aulas ativas, é fundamental começar a fazê-lo, antes da apresentação das questões centrais nas próximas cenas.

Não se esperam propriamente respostas para as perguntas no primeiro slide (figura 36 parte a). Elas são propositadamente vagas. O seu propósito não justificaria o uso do tempo longo, necessário para maiores esclarecimentos e respostas elaboradas. Além de dar o tom de atividade e reflexão, essas questões buscam, mais especificamente, trazer à tona o assunto força e movimento e auxiliar para que o grupo recém-chegado gradualmente volte a sua atenção para a atividade didática programada e para a interação com os colegas. Como é sabido, os discentes precisam de alguns minutos para colocar a aula em foco (Ruhl; Hughes; Schloss, 1987). Por fim, cabe explicar que a imagem dinâmica do slide, contendo uma pessoa em ação, foi selecionada com a intenção de levar os discentes a se imaginarem na posição dela ao longo da sequência didática.

A pergunta no segundo slide da figura anterior é também bastante vaga. De fato, ela só pode ser objetivamente respondida com vários condicionantes, como os que se seguem. As forças (maior e menor) atuam por um mesmo intervalo de tempo? Há outras forças que agem no corpo em questão? As forças se opõem ao movimento? Não obstante a essa imprecisão, é razoável esperar que a pergunta estimule os estudantes a recordarem as suas concepções sobre o movimento, especificamente aquelas que concernem à relação entre as forças que atuam sobre um corpo e a sua velocidade. Acreditamos que “reativar” essas ideias seja fundamental

para que elas possam, na sequência da atividade, ser discutidas, desafiadas e comparadas com resultados experimentais e com as previsões da mecânica newtoniana. Note-se que o procedimento delineado no roteiro envolve reflexão individual, resposta, compartilhamento com a turma (por parte de voluntários e convidados), discussão em grupo, seguida de uma segunda resposta individual. Esse processo está apoiado na literatura científica, como discutiu-se na subseção 2.2.

Cena 4 – Como o bloco se move - concretude da questão (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor projeta a imagem que se segue e aguarda para que os alunos a examinem. Ele, então, informa que a cena ali retratada diz respeito ao problema que irão considerar em seguida. Antes de prosseguir, ele conta que não havia encontrado na web uma imagem adequada, de forma que contratou um “artista” para criá-la por encomenda: “o DALL-E, um primo do ChatGPT, capaz de produzir imagens a partir de textos descritivos, fornecidos pelo usuário”. É interessante, apontar que o “artista” se concedeu a liberdade poética para representar uma pessoa com apenas quatro dedos. Nota: no momento que se elabora esta dissertação, a capacidade de geração de imagens a partir de textos encontra-se incorporada à versão gratuita corrente do ChatGPT (GPT-4o), disponível no sítio da OpenAI.

Figura 9 – Slide 4 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Com o slide que se a segue, o professor apresenta a situação-problema da sequência didática. Projetando a imagem (versão reduzida da anterior), ele diz que quer discutir a situação concreta retratada ali. Em seguida, ele projeta e lê o texto

situado acima da imagem (“*Você empurra com força constante ...*”) e faz o mesmo com a indagação abaixo dela (“*Como você acha que o bloco se move enquanto você o empurra ...*”). Ele ressalta que a pergunta se refere ao movimento do bloco no gelo, enquanto ele está em contato com a sua mão, que o empurra com força constante. Depois de uma breve pausa, ele enfatiza veementemente que está perguntando sobre o mundo real, sobre o que de fato veríamos, não sobre alguma situação idealizada ou “teórica”.

Figura 10 – Slide 5 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

Você empurra com força constante um bloco de aço muito liso, sobre uma superfície de gelo lisa e plana.



2) Como você acha que o bloco se move enquanto você o empurra com força constante?

Fonte: Própria autora.

Explicação:

A apresentação deste slide serve para introduzir o problema principal a ser discutido nas questões seguintes, envolvendo o deslizamento de um bloco de aço sobre uma superfície de gelo lisa e plana. A pergunta é certamente ampla – ela pode ser respondida em termos da trajetória do corpo, da sua velocidade, aceleração, etc. O que se quer aqui é que o grupo de estudantes perceba que há múltiplos aspectos no fenômeno movimento.

A apresentação gráfica da situação, sob a forma de uma imagem, busca chamar a atenção do aluno, reforçar o caráter realístico das questões e, mais objetivamente, aliviar a carga cognitiva dele. Como discutiu-se anteriormente (subseção 2.3), a superlotação da memória de trabalho constitui um obstáculo a um pensamento bem-sucedido. No caso presente, há uma série de informações que o estudante precisa ter em mente simultaneamente. Ele precisa lembrar a que a superfície de gelo é lisa, de modo que a força de atrito é muito pequena e como, como ela é plana e horizontal, o peso do bloco não terá efeito sobre o seu

movimento. Ademais, não se pode esquecer que a pergunta é sobre o movimento que ocorre sob a ação de uma força horizontal constante, no sentido no qual o bloco é empurrado. A imagem apresentada resume essas informações e permite que elas sejam facilmente recuperadas. Note-se que algumas delas sequer são explicitadas no texto do slide (a superfície é horizontal e o empurrão é no sentido em que o corpo se move), porém são prontamente obtidas em um relance.

Por fim, a menção à criação da imagem com um agente de inteligência artificial generativa buscou não só atrair interesse para a aula, mas também informar e motivar os jovens presentes acerca dos desenvolvimentos impactantes que se sucedem atualmente no campo da IA.


Cena 5 – Como varia a velocidade do bloco? (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Apresentando o slide abaixo, o professor reforça as condições relacionadas com a situação-problema e enuncia a sua nova questão sobre ela: “*Como a velocidade desse corpo varia enquanto você o empurra ...*”.
- Em seguida, é realizado o processo-padrão de resposta e discussão já apresentado: reflexão individual, registro da resposta, alguns alunos apresentam oralmente a sua resposta para a classe, discute-se em pequenos grupos e novamente registra-se as respostas na folha de atividades.

Figura 11 – Slide 6 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

Você empurra com força constante um bloco de aço muito liso, sobre uma superfície de gelo lisa e plana.



3) Como a velocidade desse corpo varia enquanto você o empurra (com força constante)?

Fonte: Própria autora.

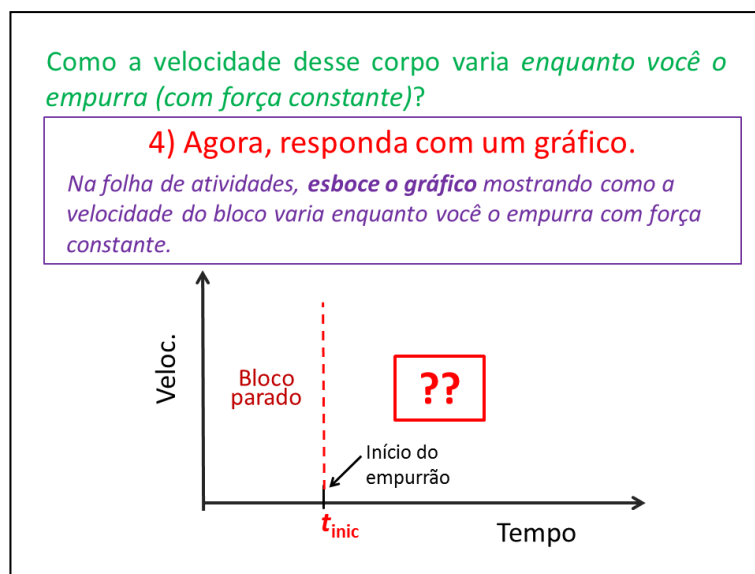
Explicação:

A questão trata da mesma situação discutida antes, porém agora a pergunta é especificamente sobre como variaria a velocidade do bloco sob a ação de uma força constante. O propósito é levar os estudantes a revisitarem e discutirem entre si as suas ideias sobre como uma força afeta o movimento de um corpo. Em suma, cria-se aqui uma oportunidade para que os discentes utilizem a recém estudada segunda lei de Newton ou apresentem as suas concepções alternativas. Como é sabido, essas ideias encontram-se fortemente enraizadas na estrutura cognitiva estudante. Entre elas destaca-se aquela segundo a qual a velocidade de um corpo é determinada pela força resultante que atua sobre ele.

Cena 6 – Como varia a velocidade do bloco? – gráfico $v \times t$ (2ª lei de Newton)**Roteiro:**

- Com o auxílio do slide seguinte, o professor explica que novamente deseja saber como varia a velocidade do bloco enquanto ele é empurrado, porém destaca que agora quer uma resposta gráfica.
- Na sequência, o professor pormenoriza a sua demanda. Ele mostra o gráfico no slide e informa que esse é uma cópia daquele que os alunos têm nas suas folhas de atividades. O professor explica que o “*tempo*” (eixo horizontal) seria aquele medido por um cronômetro. Ele diz que quer que cada aluno registre como acha que a velocidade do bloco varia, considerando que o objeto estava inicialmente parado (região esquerda do gráfico) e que começou a ser empurrado no instante “ t_{inic} ”, destacado na figura. Sintetizado, ele solicita que a turma registre como se espera que a velocidade se comporte para tempos posteriores a t_{inic} .
- Seguem-se as respostas individuais, a discussão em pequenos grupos e as respostas finais.

Figura 12 – Slide 7 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

Explicação:

O objetivo principal aqui é fazer com que o aluno aplique as suas concepções sobre o movimento para apresentar uma previsão, em uma forma (gráfica) tal que possa ser diretamente comparada com os resultados experimentais que serão trabalhados nas próximas cenas. Além disso, espera-se que esta atividade leve os estudantes a praticarem a representação de um movimento – eles deverão “traduzir” a sua resposta verbal, dada questão anterior, para a linguagem gráfica solicitada aqui.

Cena 7 – O método científico - uma exposição interativa (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Projetando o slide abaixo, o professor lê a pergunta inicial e recapitula o fato que haviam sido compartilhadas previsões contrastantes sobre como o bloco se moveria sobre o gelo sob as condições especificadas e destaca a materialidade da questão, perguntando retoricamente – *“As previsões que vocês fizeram são diferentes. É claro que no máximo uma delas pode estar certa. Como, de fato, veríamos o bloco se mover no mundo real? Como a sua velocidade varia ao longo do movimento? Não há como as diferentes respostas que vocês apresentaram estarem todas corretas.”*
- Fazendo uma breve pausa para reflexão, sem, porém, solicitar respostas às indagações anteriores, o instrutor projeta e enuncia novas perguntas: *“Você tem certeza da sua resposta? Como você sabe que ele se move assim?”* Ele incentiva e aguarda o comparti-

lhamento de voluntários e tenta esclarecer se eles de fato já presenciaram exatamente a situação em análise.

- Seguindo com o slide, o professor sintetiza que até o momento eles vinham tentando estabelecer como o bloco se move por meio de opiniões, memórias de situações parecidas ou de crenças das pessoas na sala. Ele propõe que agora examinem as questões de uma maneira diferente – “*perguntando à própria natureza*”. Ele afirma que essa é a essência do método científico.

Figura 13 – Slide 8 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

Como o bloco realmente se move (mundo real)?

??

Como você sabe que ele se move assim?
Tem certeza da sua resposta?

MUDANDO A ABORDAGEM ...
Vamos perguntar para a própria natureza!!

Método científico

Fonte: Própria autora.

- O instrutor informa que quer discutir concretamente o que é o método científico e agilmente apresenta a primeira pergunta no slide na figura 14: “*As mulheres têm menos dentes do que os homens? O que você acha?*”. Depois de ouvir algumas respostas, ele informa que Aristóteles acreditava que sim, mas, sabemos hoje, que a grande maioria das mulheres e homens adultos e saudáveis têm trinta e dois dentes.
- Segue, então, a crítica de Bertrand Russell (Russell, 2016), segundo a qual não teria ocorrido ao filósofo grego fazer observações para tentar comprovar a sua assertiva. O professor comenta, baseando-se na passagem abaixo (Benton, 1952) que a crítica parece injusta, pois os escritos de Aristóteles sugerem que ele estaria amparando a sua posição em observações, dele, ou de outras pessoas:

“Machos têm mais dentes que as fêmeas no caso de humano, ovinos, caprinos e suínos; no caso de outros animais, ainda não foram feitas observações”.

- Assim, o professor questiona que, se Aristóteles, baseou-se em observações, como ele pôde chegar à conclusão errada: “*O que houve de errado?*”.
- Endereçando a pergunta anterior, o professor afirma que não sabemos o que de fato aconteceu, mas que é fácil imaginar várias explicações plausíveis. É bem possível que Aristóteles possa ter contado errado os dentes, seus e da sua esposa, já que a higiene bucal na época (século IV a.C.) era bastante precária. De fato, fazer a contagem de uma linha de dentes coberta por tártaro não parece uma tarefa fácil. Aristóteles poderia também ter contado o número de dentes das mulheres de uma família portadora da agenesia (variação genética relacionada com um número menor de dentes) e dos homens de outra família sem ela.
- O professor segue observando que podemos fazer muitas outras suposições razoáveis, contudo, não há dúvida de que Aristóteles não utilizou aquilo que conhecemos hoje como o método científico. De fato, a sua ascendência começou muito mais tarde, por volta dos séculos XVI e XVII, ou seja, cerca de 2 mil anos depois dos trabalhos de Aristóteles.

Figura 14 – Slide 9 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

O método científico

Pergunta:

As mulheres têm menos dentes do que os homens?

O que você acha?

✗ Aristóteles: SIM*

Bertrand Russell:**

“Apesar dele ter casado duas vezes, nunca ocorreu a ele verificar essa assertiva examinando a boca das suas esposas.”

Crítica a crítica: fizeram-se observações (“verificações”)

O quê houve de errado?

*Aristotle II -Great Books of the Western World. [Chicago]: W. Benton, 1952
**The Impact of Science on Society. [Routledge]: B. Russell, 2016

Fonte: própria autora.

- Feitas essas observações, o instrutor pergunta: “*Mas o que é realmente o método científico?*” Ele começa a responder projetando o slide na figura 36 e explicando a definição ali presente: “*É um método que serve para separar as ideias corretas das incorretas.*”

Este método consiste em testar as ideias para ver quais funcionam”.

- Prosseguindo com o slide, ele enfatiza que o teste da ideia deve ser exaustivo e criterioso. Acrescenta que, no caso do número de dentes, a contagem deveria, por exemplo, ser realizada por pessoas treinadas da mesma forma, em um grande número de homens e mulheres, de diferentes localidades, submetidos antes a um procedimento de limpeza dental.
- Passando para a parte inferior do slide 10, o instrutor menciona que há outras “ferramentas” para explorar o mundo, além do método científico. Um exemplo é “o *método lógico-dedutivo*” da matemática. O professor destaca que ele é diferente e também muito poderoso. Nele, não se busca provar que uma ideia é correta por meio de testes. Na geometria, por exemplo, não são desenhados vários triângulos e medidos os seus lados para testar se, em todos eles, um lado qualquer é menor que a soma dos outros dois. O professor lembra que na geometria essa propriedade interessante é provada (demonstrada), para todo e qualquer triângulo, por meio de uma “dedução lógica”, em outras palavras, partindo de certos fatos “razoáveis” que combinamos aceitar sem provas – os denominados “postulados de Euclides”.
- Na sequência do slide, voltando ao método científico, o professor menciona que ele nem sempre existiu, que é uma criação cultural recente em termos históricos, cuja adoção ocorre progressivamente. De fato, pontua o professor, apesar do seu inequívoco sucesso, o método científico não é ainda hoje unanimemente aceito, como exemplificam o negacionismo climático, os movimentos antivacina e diversos procedimentos terapêuticos utilizados no enfrentamento da recente pandemia do covid-19.

Figura 15 – Slide 10 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

O método científico

Método para distinguir ideias corretas e incorretas, que consiste em **testá-las** para verificar quais funcionam.

Idea é colocada a prova: **teste exaustivo e criterioso**

Método diferente: *“método lógico-dedutivo”*.

- O método científico nem sempre existiu.
- É uma criação cultural recente.
- Não é universalmente aceito.

Fonte: Própria autora.

- Com o slide 11 (figura 16), o professor ilustra a ascensão gradual do método científico, mencionando o longo percurso de dois milênios que separa Aristóteles de Galileu Galilei, convencionalmente tido como o pai da ciência moderna, passando pelas notáveis figuras medievais de transição de Jean Buridan e Roger Bacon.

Figura 15 – Slide 11 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

O método científico

<p>Aristóteles (384-322 a.C.)</p> 	<p>Roger Bacon (1214-1294)</p> 
<p>Jean Buridan (1300-1358)</p> 	<p>Galileu Galilei (1564-1642)</p> 

Fonte: Própria autora.

- Com slide da figura seguinte, o professor recapitula e aprofunda a descrição do que é o método científico. Primeiramente, ele explica a visão de Bacon sobre o método e desta-

ca um aspecto crucial, enraizado na ciência moderna – a verificação independente dos fatos, a “revisão por pares” (“*peer review*”) – de acordo com o qual, um cientista deve, em seu trabalho, fornecer todos os elementos necessários para que colegas possam repetir os seus experimentos e testar independentemente a correção dos seus resultados e conclusões. Em seguida, o professor apresenta o pensamento de Jean Buridan. Esse ilustra a busca por causas comuns, isso é, por teorias abrangentes (unificadoras), especialmente caras na Física. Note o leitor que a proposição de Buridan foi extremamente ousada e importante para o progresso da ciência, dada a vigência, até aqueles dias, da cosmologia aristotélica, de um universo dividido entre os mundos sublunar e supralunar.

- O instrutor encerra a exposição sobre o método científico com uma nota acerca da “humildade científica”. Ele pontua que a ciência reconhece que o seu método não serve para responder toda pergunta, sobretudo as de caráter subjetivo, como, por exemplo, “*Qual é o melhor refrigerante - o X ou o Y?*” Na mesma linha, não se deve esperar respostas científicas sobre questões de cunho moral. Utilizar a ciência para tratar desses problemas seria análogo a usar um martelo para apertar um parafuso – o martelo é uma boa ferramenta, porém é inadequada para essa tarefa. Infelizmente, a história mostra que o uso indevido da (pseudo) ciência, assim como o de um martelo, pode provocar dados terríveis. Por fim, vale lembrar que há outros métodos para explorar o universo em que vivemos, como os da filosofia, o método lógico-dedutivo e outros mais.

Figura 17 – Slide 12 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

O método científico


Roger Bacon (1214-1294)


Bacon descreve o método científico como **um ciclo repetido de observação, hipótese, experimentação** e destaca a necessidade de verificação independente dos resultados.

↓

Ele registrava a forma como conduzia seus experimentos em detalhes precisos a fim de que outros pudessem reproduzir seus experimentos e testar os resultados.
(https://pt.wikipedia.org/wiki/Roger_Bacon)

“Os movimentos dos céus estão submetidos às mesmas leis dos movimentos das coisas cá de baixo, a causa que mantém as revoluções das esferas celestes é a mesma que mantém a rotação do rebole do ferreiro; há uma Mecânica única pela qual se regem todas as coisas criadas, a esfera do Sol e o pião que o menino põe em rotação.”
(DUHEM, P. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Aristote, tomo VII)





Jean Buridan(1300-1358)

Limites, alternativas e distorções

Fonte: Própria autora.

Explicação:

Evidentemente, o propósito aqui é promover o “letramento científico” dos estudantes.

Trata-se de uma empreitada imensamente importante e frequentemente negligenciada. É preciso, como professores, lembrar que ensinar o que a ciência aprendeu é diferente de ensinar como a ciência aprende. A autora acredita que todos em uma sociedade, cientistas ou não, deveriam compreender a essência do método científico, o seu valor e também as suas limitações.

Como é fácil perceber, recorreremos ao “poder das histórias” (vide subseção 2.5) para atrair o interesse dos estudantes e engajá-los na discussão. Note-se a presença dos elementos típicos de uma história: personagens (Aristóteles, Russel, Bacon etc.), causalidade, conflito (Aristóteles x Russel) e complicação (Aristóteles baseou-se em observações).

Cena 8 – O experimento (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor marca o encerramento da sua exposição e a retomada do problema anterior anunciando algo como: “*Vamos voltar à minha questão sobre o movimento de um bloco de aço sobre uma pista de gelo muito lisa e plana - Como varia a velocidade desse corpo enquanto eu o empurro com força constante?*”. Ele recapitula que foram dadas respostas muito diferentes, por meio de gráficos, mas que ele quer saber o que realmente

acontece e propõe que os estudantes respondam, agora usando método científico. Ele informa que dispõe de um experimento que poderá ajudar.

- Feito isso, ele passa a descrever, com uma sequência de vídeos, um dos experimentos realizados nesta dissertação. Os métodos experimentais utilizados estão descritos no capítulo 4. Seguem-se os passos da explicação sobre o experimento.

O experimento – parte 1: o trilho de ar

- Primeiramente, o instrutor pondera que seria difícil trabalhar com uma pista de gelo. Em primeiro lugar, o experimento com ela teria que ser muito rápido, ou executado em um ambiente sob forte refrigeração, para que o gelo não derretesse durante as observações. Outro complicador é que, para os nossos propósitos, precisaríamos de uma pista de gelo extremamente plana, lisa e blindada da ação de ventos e outras influências que pudessem interferir no movimento do bloco. O professor afirma que, por essas e outras razões, o experimentador não usou uma pista de gelo, mas algo “parecido” - um trilho de ar que ele apresentará em seguida.
- Ele mostra o vídeo contido no slide da figura 18 e vai narrando os seus acontecimentos. Nele, a autora mostra o trilho de ar e demonstra que um objeto metálico colocado sobre ele, o “planador”, desliza por uma extensão inesperadamente longa, quando impulsionado pela força diminuta de um fraco peteleco. O instrutor chama a atenção dos estudantes para esse fato e observa que o trilho parece ser “extremamente escorregadio”, como uma pista de gelo.

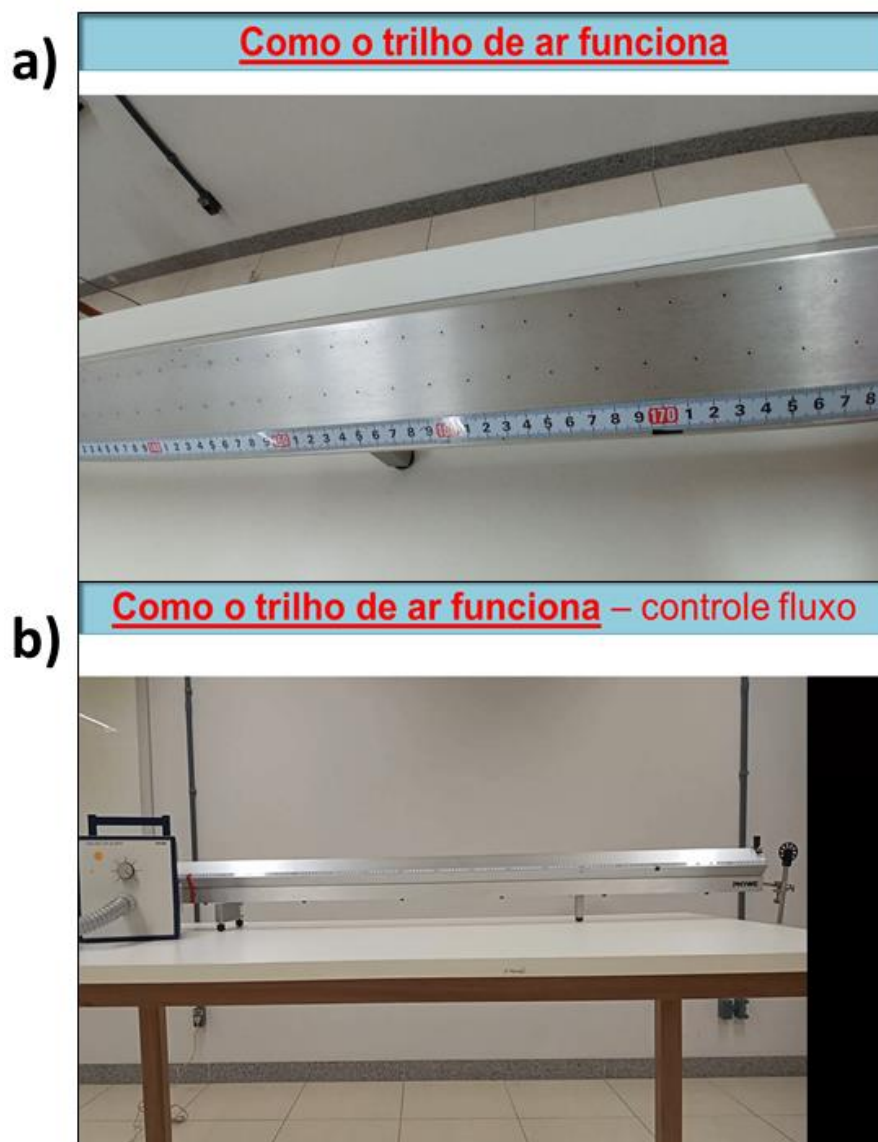
Figura 18 – Slide 13 (com vídeo) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Em seguida, ele pergunta como se consegue isto (um trilho tão “escorregadio”). Sem aguardar resposta, o professor diz que os vídeos seguintes irão responder isto e passa a apresentar o primeiro deles (parte a da figura 19). Nessa curta filmagem, em zoom sobre o trilho, mostra-se que a sua superfície contém um grande número de pequenos furos. No vídeo seguinte (parte b da figura 19), a autora mostra um compressor que injeta ar no trilho, criando, assim, um fluxo de ar considerável, que sai pelos furos revelados antes. Com isso, o professor pode explicar que o planador se move sobre um “colchão de ar”, mal tocando a superfície do trilho. Disto, decorre a redução extrema do atrito, observada no vídeo anterior, que faz com que a situação do planador no trilho, se assemelhe à do bloco de aço sobre uma superfície de gelo.
- Ainda com este vídeo (parte b da figura 18), o professor mostra que a intensidade do fluxo de ar pode ser controlada por meio do compressor. Ele destaca, como demonstra a autora no vídeo, que sob um fluxo de ar grande, como fora mostrado antes, o trilho é muito escorregadio; porém, com fluxos menores, o planador impulsionado para rapidamente, semelhante ao que vemos cotidianamente com objetos que empurramos sobre uma mesa.

Figura 19 – Slides 14 e 15 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

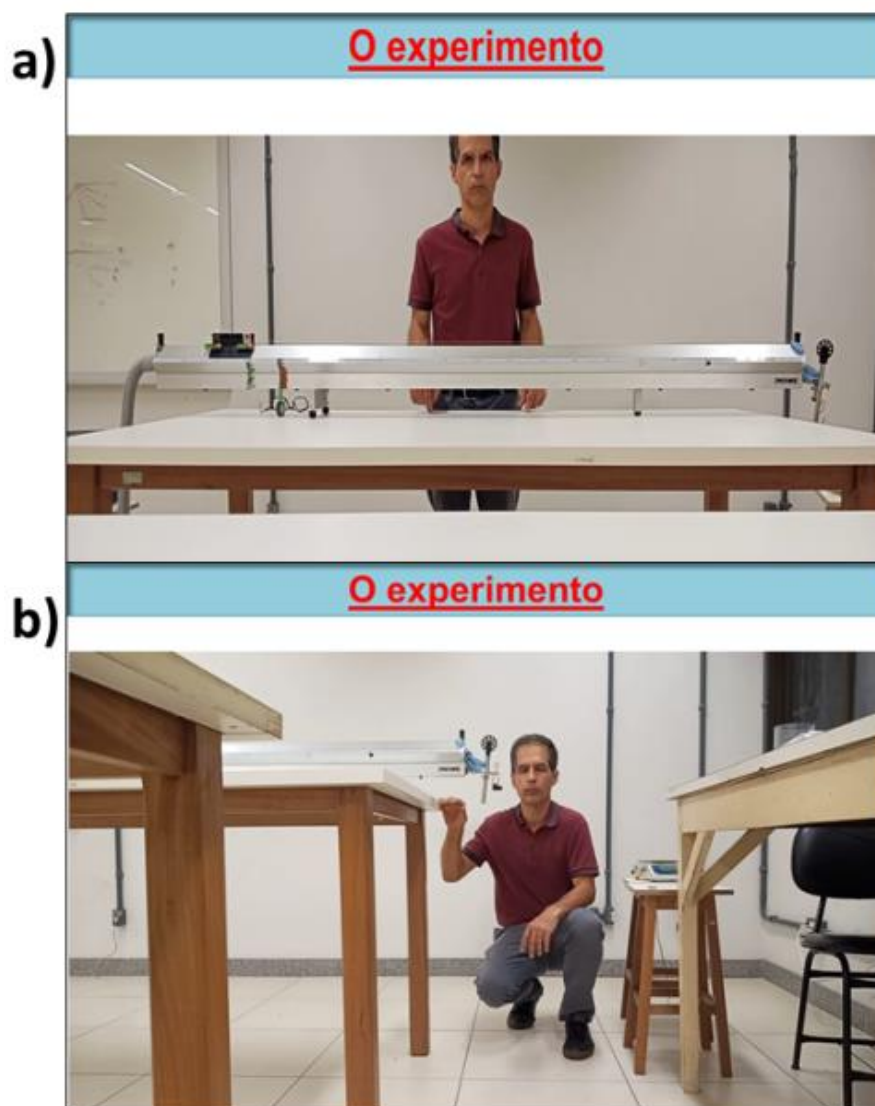


Fonte: Própria autora.

O experimento – parte 2: a força

- Em seguida o professor explica como será aplicada uma força no planador durante o experimento. Para isso, ele utiliza os vídeos inseridos nos slides 16 e 17 (partes a e b da figura 20). No primeiro (parte a), é mostrado que há uma fina linha, que passa por uma roldana (pequena e leve), conectando o planador a um objeto que, ao cair, puxará o planador. No outro (parte b), mostra-se em detalhe a roldana e o puxamento do planador pelo objeto em queda.

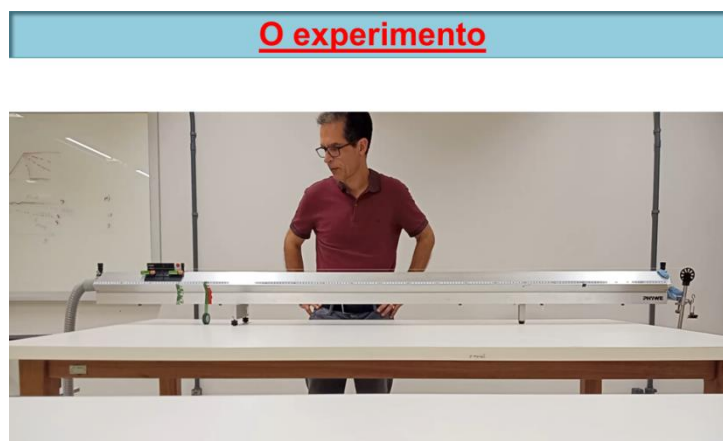
Figura 20 – Slides 16 e 17 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Prosseguindo, o instrutor mostra o movimento do planador sendo puxado pelo objeto em queda, capturado no vídeo contido no slide 18, na figura 20.

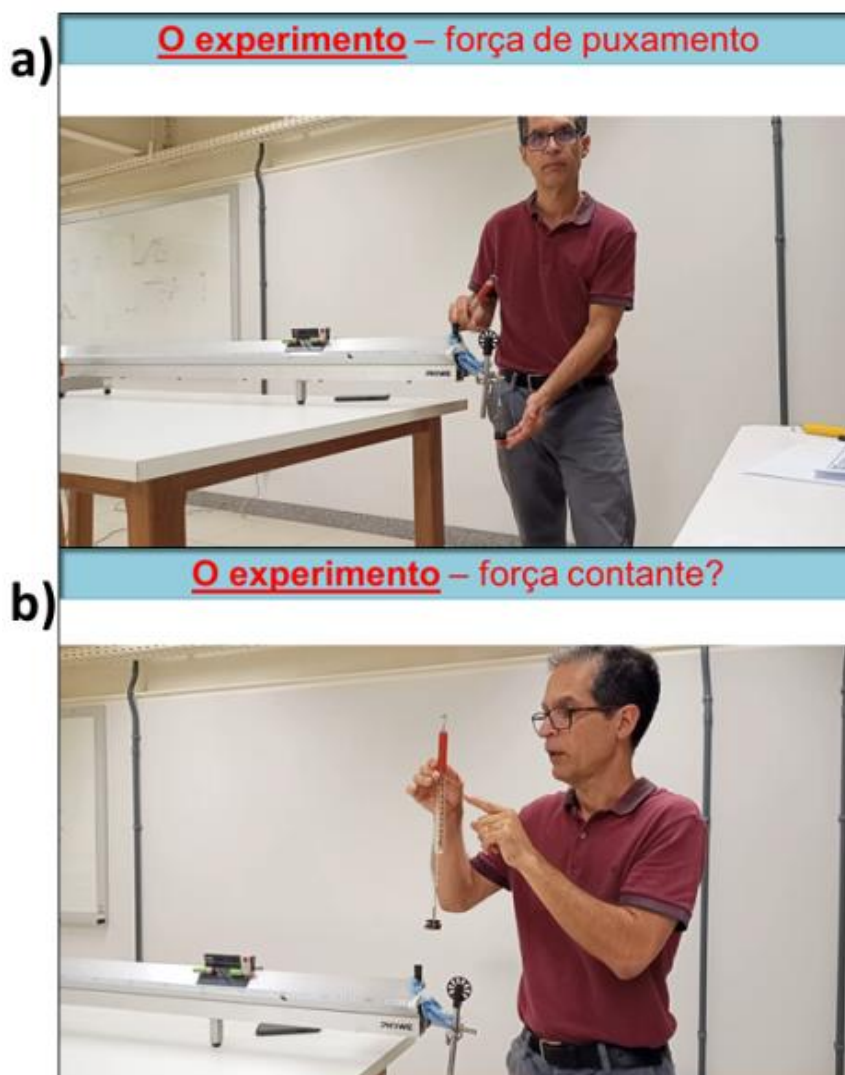
Figura 21 – Slide 18 (com vídeo) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Agora, o professor precisa convencer (racionalmente) os estudantes de que a força com que o planador é puxado é constante. Para isso, ele utiliza os vídeos nos slides 19 e 20, mostrados, respectivamente, nas partes a e b da figura 22 abaixo. No primeiro deles, recapitula-se o mecanismo pelo qual o planador é puxado e questiona-se se a força com que ele é puxado seria constante. Ainda neste vídeo, é explicado como essa pergunta pode ser respondida usando-se um dinamômetro. Depois de mostrado esse instrumento, apresenta-se o slide 20, no qual se mede a força (peso) com qual a Terra atrai o objeto que puxará o planador.

Figura 22 — Slides 19 e 20 (com vídeos) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

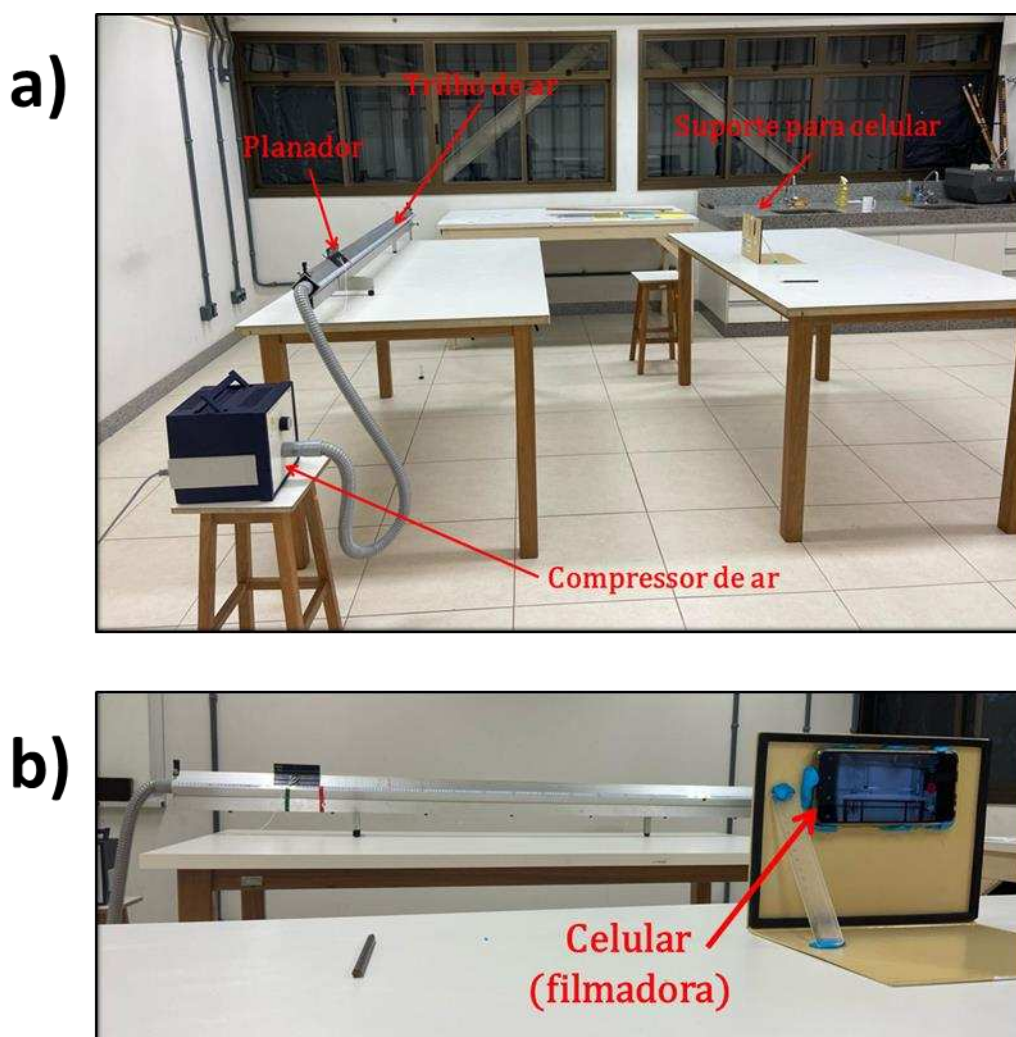


Fonte: Própria autora.

O experimento – parte 3: a montagem e o “Tracker”

- Feito isso, o professor apresenta a montagem experimental mostrada na figura 23. Na fotografia na parte superior, ele localiza o trilho de ar, o planador, compressor de ar e também o telefone celular com o qual o movimento do planador será filmado. Por fim, ele usa a fotografia na parte inferior desta figura para mostrar o arranjo que suporta o celular e destaca o trilho de ar ao fundo.

Figura 23 – Slides 21 (parte a) e 22 (parte b) da sequência didática sobre a segunda lei de Newton




Fonte: Própria autora.

- o Com os slides da figura 24 (partes a e b), o professor apresenta brevemente o programa “Tracker”, de análise de vídeo e mostra alguns resultados interessantes da sua aplicação. Ele menciona que o aplicativo é gratuito, informa o sítio da web do qual ele pode ser obtido e sugere que se trata de uma ferramenta fantástica para aqueles que têm curiosidade por investigar o mundo por conta própria. Ao mencionar algumas das possibilidades do *Tracker*, o professor destaca aquela relevante para o experimento: a capacidade de, partindo da filmagem do movimento de um corpo, obter a sua velocidade em diferentes instantes e de apresentar essa informação em um gráfico de velocidade x tempo.

Figura 24 - Slides 23 e 24 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

a)



b)

Tracker
Video Analysis and Modeling Tool

- Ferramenta **gratuita** de análise e modelagem de vídeo;
- Rastreamento manual e automatizado de objetos com obtenção dados cinemáticos (posição, velocidade e aceleração);
- Compatível com vários formatos de vídeos (avi, mp4, wmv , etc);
- Funciona em computadores de baixo desempenho;
- Disponível em diversos idiomas (inclusive português);
- Tutoriais em vídeo;
- <http://physlets.org/tracker/>.

Fonte: Própria autora.

Explicação:

- Na explicação anterior do experimento e do aparato experimental o professor aproveita a ocasião para aprofundar a discussão sobre o método científico em termos concretos. Nela, o instrutor ilustra, com um exemplo concreto, uma faceta importante da experimentação no método científico – a “modelagem”. Nesse processo, realizamos os experimentos com um “modelo”, isso é, com um sistema mais simples e ou controlável, que “imita” o sistema mais complexo que queremos estudar. Os testes mostrados indicam que o conjunto planador-trilho de ar, com os devidos cuidados (trilho, nivelado, fluxo de ar grande etc.), é um bom modelo para o sistema bloco-superfície sobre o qual queremos aprender. Parece razoável esperar que aquilo que aprendermos sobre o movimento do planador no trilho se aplique também ao movimento do bloco no gelo.

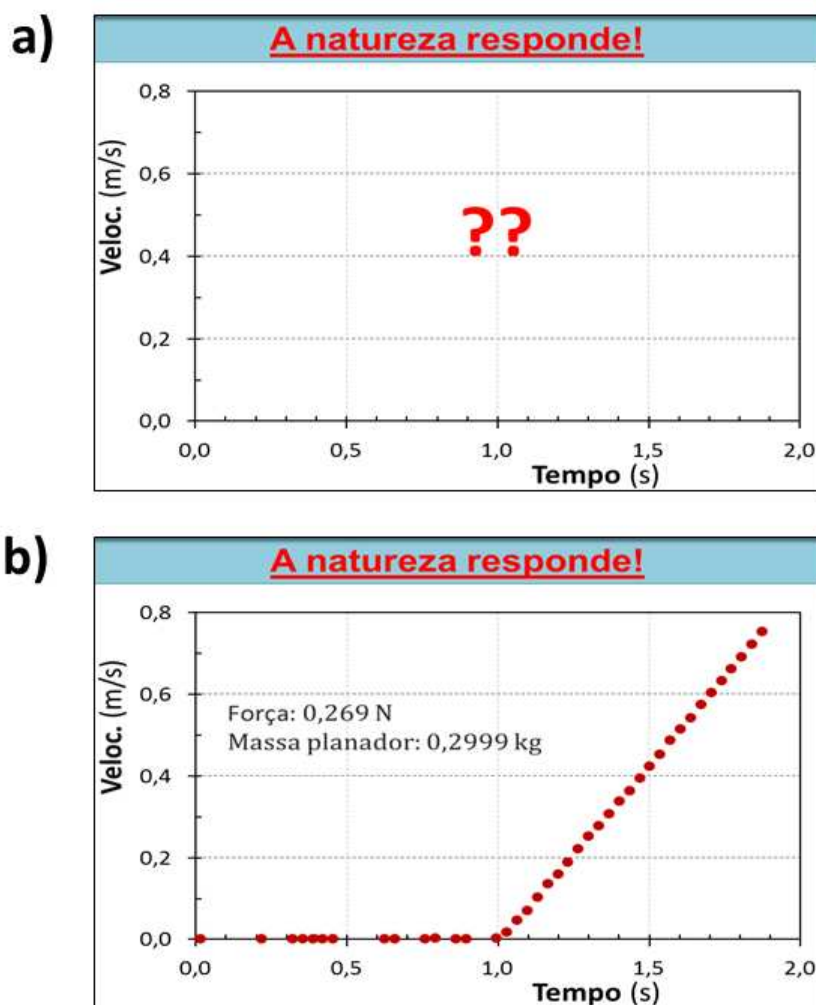
- A menção ao programa *Tracker* de análise de vídeo, a sua gratuidade, facilidade de utilização e possibilidades interessantes de uso visam estipular os alunos a utilizá-lo independentemente de maneira criativa e instrutiva. Sim, é provável que a maioria não o faça. Contudo, essa autora confessa que sonha que alguns estudantes poderão enveredar por esse caminho, fazendo medidas, ponderando sobre elas, pensando perguntas novas, que envolvam novos experimentos e reflexão.

Cena 9 – Resultado: como a velocidade varia (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Projetando o primeiro slide da figura 25 abaixo, o professor diz que o movimento do planador sobre o trilho de ar, puxado por uma força constante, foi filmado e analisado com o *Tracker* e que o resultado está no gráfico daquele slide.
- Antes de revelar o resultado, ele recapitula que esse experimento controlado deverá responder a questão anterior – “*Como a velocidade do bloco varia enquanto o empurramos com uma força constante sobre uma pista de gelo?*”.
- Depois de pedir que cada estudante tenha à vista a sua resposta na folha de atividades, ele revela a “resposta da natureza” (aquela obtida experimentalmente), apresentando o gráfico no segundo slide da figura 25.
- O instrutor solicita que os estudantes descrevam o que veem no gráfico. Em seguida, ele pergunta se a força constante levou o planador uma velocidade constante. Neste ponto, o professor oportunamente ajuda os alunos a distinguirem previsão e fato, assim como teoria e experimento.

Figura 25 – Slides 25 e 26 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: própria autora.

Explicação:

- Esta cena é vital: ela busca criar o “conflito cognitivo”, mencionado por Piaget e discutido na seção 2.1. Além disso, caminha-se aqui no propósito de promover o “letramento científico” dos estudantes.

Cena 10 – Resultado: o efeito de forças diferente (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Projetando o slide da figura 26 abaixo, professor revisita a essência de uma das suas perguntas iniciais: “Uma força menor atuando sobre o planador o leva a uma velocidade menor? Justifique.”

Figura 26 – Slide 27 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

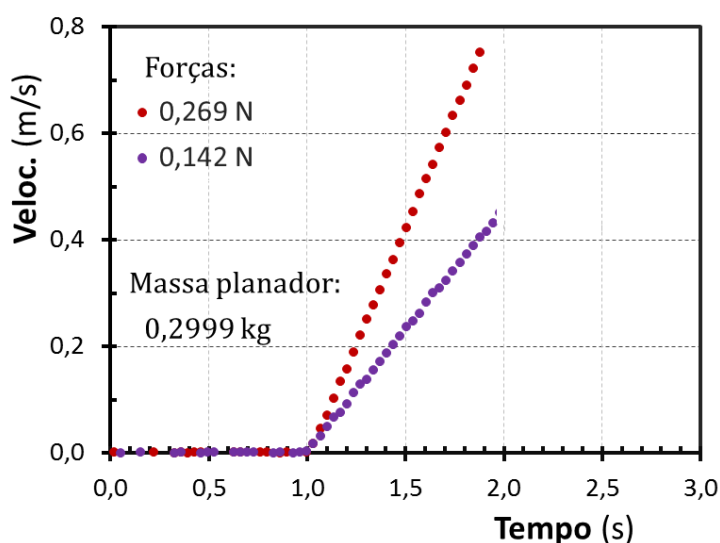
Relação entre força e movimento

5) Uma força menor atuando sobre o planador o leva a uma velocidade menor? **Justifique.**

Fonte: Própria autora.

- O professor informa que o experimento foi realizado – mediu-se a velocidade do planador como função do tempo, enquanto ele era puxado com uma força constante, menor que aquela do experimento anterior. Em seguida ele projeta o gráfico da figura 27 abaixo e explica que os pontos vermelhos são aqueles obtidos no experimento anterior, realizado com uma força de 0,269 N; enquanto os roxos referem-se ao experimento feito com uma força menor (0,142 N).

Figura 27 – Slide 28 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

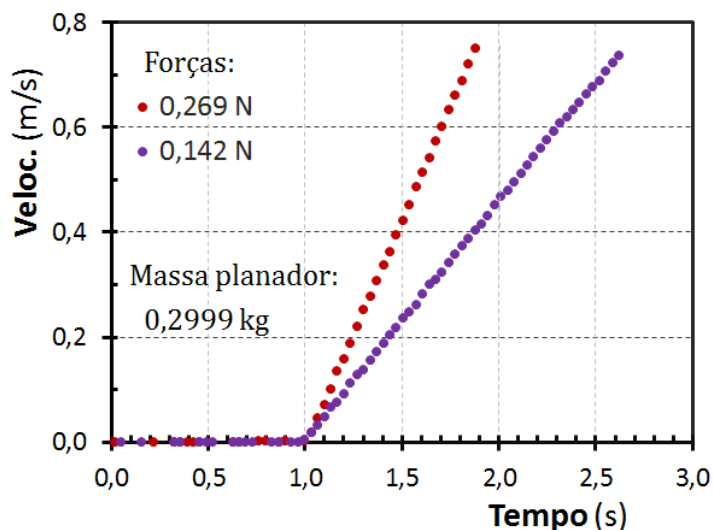


Fonte: Própria autora.

- Dado um tempo breve para o exame do gráfico anterior (slide 28 na figura 27), o docente aponta que com uma força menor a velocidade também aumenta continuamente, porém mais lentamente. Contudo, novamente não parece haver indício de que ela irá atingir um valor contante. Ele, então pergunta: “Se o planador continuasse a ser puxado com a força menor, será que ele, em algum momento, chegaria a uma velocidade tão grande quando aquela atingida no experimento com força maior (pontos vermelhos)?”

Sem esperar por respostas, ele diz que isso foi feito e apresenta o resultado no gráfico da figura 28, abaixo. Comentando – “Como se vê, dado tempo suficiente, a força menor pode perfeitamente levar o planador a velocidades maiores.”

Figura 28 – Slide 29 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



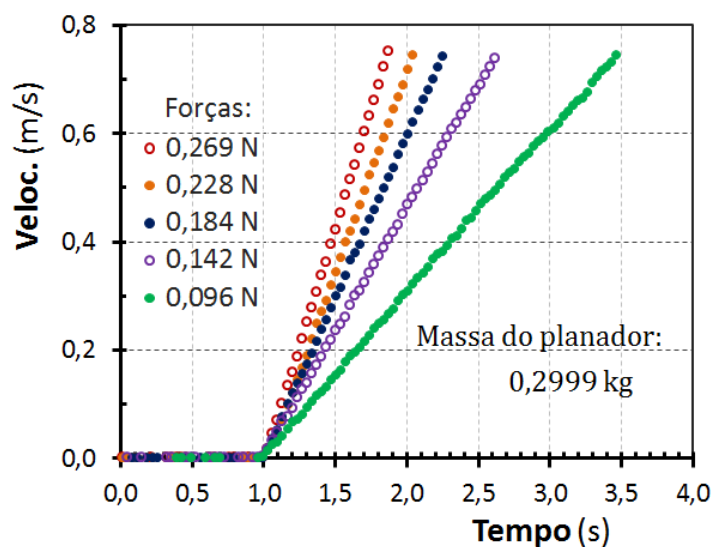
Fonte: Própria autora.

Cena 11 – Aceleração: experimento e teoria (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor informa que o experimento foi repetido com várias outras forças (constantes) com diferentes magnitudes, como é mostrado no gráfico da figura 29, abaixo. Destaca-se que, mantendo constante a massa do planador (299,9 g), quanto maior é a força, mais rapidamente aumenta a sua velocidade. Além disso, percebe-se que para cada força a velocidade aumenta linearmente, isto é, a uma taxa constante.

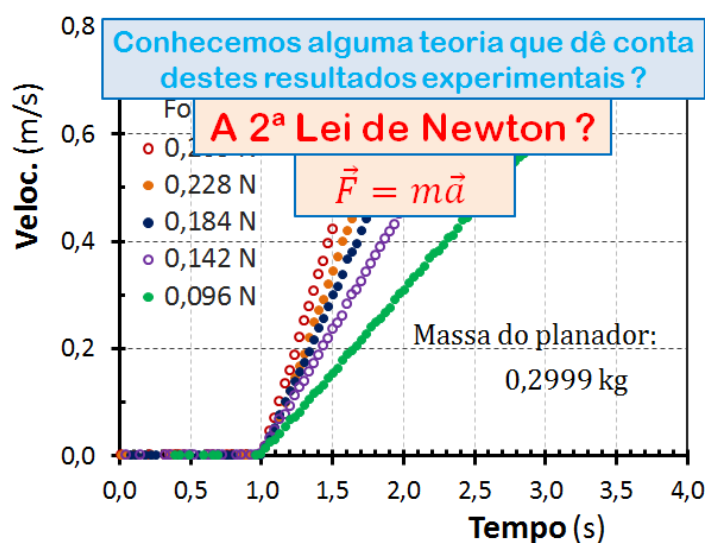
Figura 29 – Slide 30 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- O professor indaga o que o gráfico anterior revela sobre a aceleração do planador. O professor recorda o conceito de aceleração, visto no conteúdo de cinemática, e leva os estudantes concluírem que a aceleração é constante com cada força, sendo maior para forças maiores.
- Neste ponto, projetando a primeira pergunta na figura 30 que se segue (aquela em azul), o docente questiona se alguém conhece uma “teoria” que poderia prever os fatos observados - a aceleração constante e, tanto maior, quanto maior a força. Depois de estimular e ouvir respostas, ele projeta a segunda pergunta e, em resposta, explica que ela de fato prevê uma aceleração constante, se a força resultante for também constante.
- Dá conta dessas observações e acrescenta que ela pode ser usada para prever a aceleração do planador a partir da força resultante que age sobre ele e da sua massa. Contudo, ele questiona se essa previsão coincidiria com a aceleração do movimento “real”? Quão precisa é a segunda lei de Newton?

Figura 30 – Slide 31 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Neste momento, o estágio está pronto para que o professor convide o discente a “ser o cientista”, a comparar com rigor a previsão da sua “teoria” (hipótese) com a observação criteriosa do fenômeno. Ele explica que pode, para cada força usada no experimento, utilizar o gráfico de velocidade x tempo para calcular qual foi a aceleração do planador. O docente acrescenta que pode também usar a segunda lei de Newton para prever qual deve ser o valor da aceleração com aquela força. Ele aguça a curiosidade da turma perguntando: “Será que a segunda lei realmente funciona?! Quão precisamente ela prevê a aceleração do planador?”.
- O instrutor propõe que os estudantes se lancem a essa investigação. Projetando o slide da figura 30, ele solicita que os estudantes trabalhem em grupos para calcular a aceleração a partir dos dados no gráfico de velocidade x tempo e também a partir da segunda lei de Newton. Ele informa que nas folhas de atividades há cópias desse gráfico (aquele da figura 28). Para ganhar tempo, ele atribui a cada grupo a responsabilidade de calcular a aceleração do planador com uma só das cinco forças. Ele sugere que primeiro se calcule a aceleração a partir dos dados experimentais, das retas no gráfico mencionado.

Figura 31 – Slide 32 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

6) Calcule a aceleração do planador para um dos movimentos mostrados a partir:

a) Do gráfico.

b) Da segunda lei de Newton.

Fonte: Própria autora.

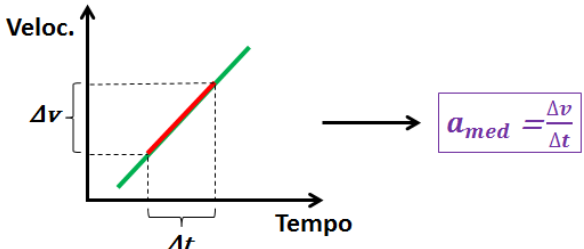
- Enquanto os grupos começam a trabalhar, o professor os visita para se inteirar das ideias e resultados. Depois de cerca de cinco minutos, ele chama para si a atenção e, usando o slide da figura 32, sugere como a aceleração do ser obtida. Primeiro ele projeta a parte superior do slide nessa figura (porção acima da linha azul) e recapitula como obter a aceleração a partir do gráfico de velocidade x tempo. Usando a parte inferior do slide, ele indica como obter a previsão da aceleração a partir da massa do planador e da força resultante sobre ele.

Figura 32 — Slide 33 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

Testando a 2ª lei de Newton

Determinando a aceleração!

Do experimento:



$a_{med} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

Previsão (2ª lei de Newton):

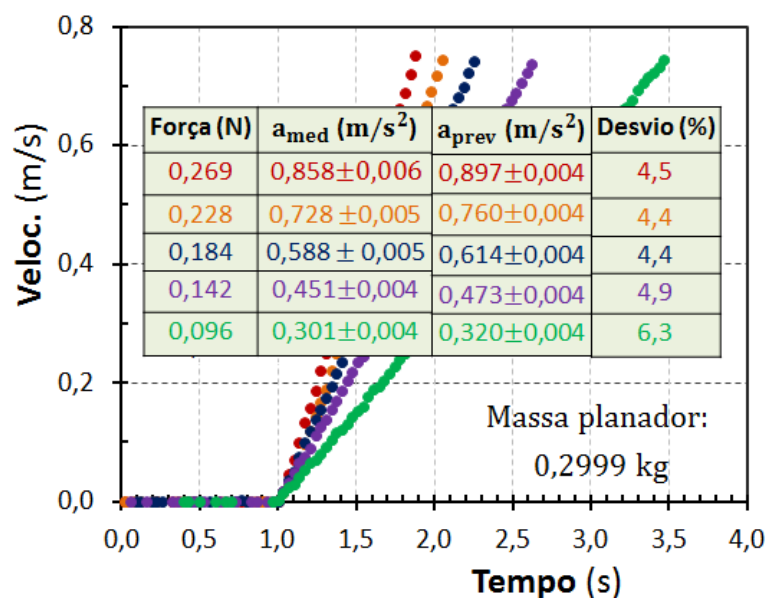
$F = m a \longrightarrow a = \frac{F}{m}$

Fonte: Própria autora.

- À medida que os alunos obtêm os seus resultados, o professor solicita que um membro do grupo os insira em uma tabela, semelhante àquela na figura 33, que havia desenhado no quadro.
- Obtidos os resultados para as cinco forças (ou a maioria deles), o professor convida os discentes a apresentarem as suas conclusões e comentários.

- Em seguida, o docente diz que fez também os cálculos da aceleração. Sem entrar em detalhes, ele acrescenta que além da aceleração, ele estimou a precisão dos seus cálculos. Feito isso, ele apresenta os resultados com o slide da figura 33.

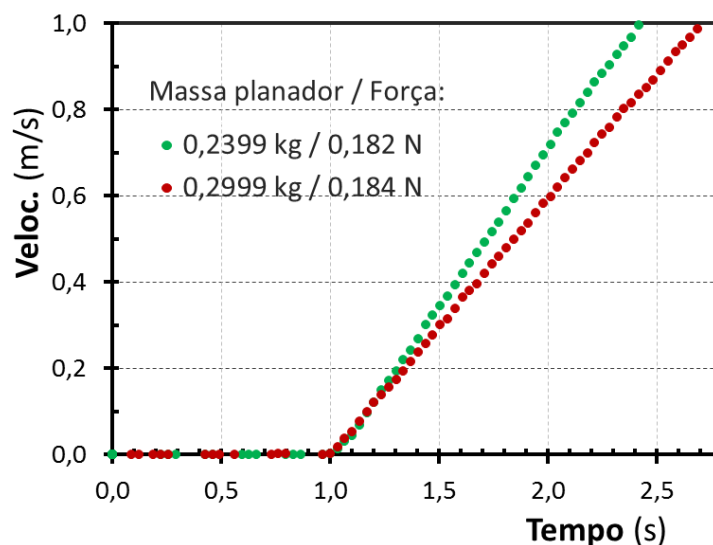
Figura 33 — Slide 34 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Caminhando para o final, o docente menciona que os resultados apresentados até o momento foram todos obtidos com um planador com massa de 299,9. Ele propõe que seria interessante investigar se a segunda lei de Newton realmente descreve corretamente a aceleração de corpos com massas diferentes. Para isso, ele apresenta os resultados na figura 34, obtidos em um experimento no qual se utilizaram planadores com massas diferentes, sujeitos (muito aproximadamente) à mesma força.

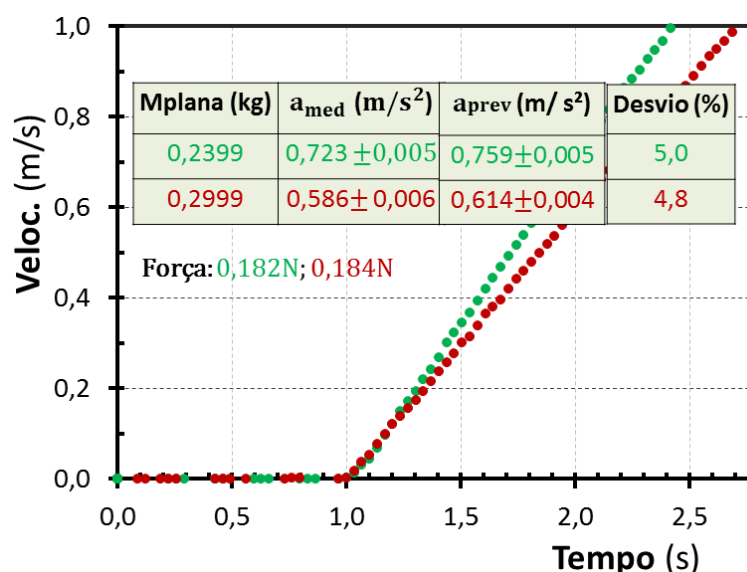
Figura 34 – Slide 35 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Analogamente àquilo que fez antes, o professor solicita que os alunos obtenham a aceleração a partir dos resultados no gráfico da figura 34 e ainda que calculem o valor previsto pela segunda lei de Newton. Ele informa que há cópias desses gráficos nas folhas de atividades e orienta que cada grupo trate dos dados advindos do experimento com uma das forças usadas.
- Depois que a turma obteve e compartilhou no quadro a aceleração medida experimentalmente e aquela prevista pela segunda lei, o professor mostra os seus resultados com o slide da figura 35.

Figura 35 – Slide 36 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Na sequência, o professor oportuniza comentários por parte dos alunos e pergunta o que eles concluem sobre a validade da segunda lei de Newton.

Explicação:

- A atividade permitiu que os estudantes verificassem quantitativamente a segunda lei de Newton, ganhassem experiência com os conceitos de aceleração e velocidade e praticassem o método científico.

Cena 12 – Síntese (2ª lei de Newton)

Roteiro:

- Encerrando a aula, o professor recapitula as conclusões lendo os tópicos no slide da figura 36 abaixo.

Figura 36 – Slide 37 da sequência didática sobre a segunda lei de Newton

CONCLUSÕES:

- A velocidade de um corpo **NÃO** é determinada pela força resultante que age sobre ele.
 - Força resultante maior não necessariamente leva a velocidade maior.
- A aceleração é determinada pela força resultante e pela sua massa do corpo.
 - Com uma força resultante maior, a aceleração do corpo é maior, isso é, a sua velocidade varia mais rapidamente.
- A aceleração de um corpo é precisamente determinada pela segunda lei de Newton:

$$\text{Aceleração} \rightarrow a = \frac{F}{m}$$

Força resultante
Massa do corpo

(vetorialmente: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$)

Fonte: Própria autora.

- O instrutor recolhe as folhas de atividades dos alunos.

Explicação:

- Depois de um trabalho intenso e, por vez, confuso para o estudante, é importante sintetizar organizadamente as conclusões. A leitura por parte do professor visa diminuir a

carga cognitiva para o estudante.

- Evidentemente, as folhas de atividade contêm informações importantes para o professor. Além disso, o seu recolhimento reforça a mensagem da expectativa de atividade (capítulo 3), importante para eventuais aulas ativas no futuro.

3.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A PRIMEIRA LEI DE NEWTON E SUA APLICAÇÃO

Duração: 50-60 minutos.

Materiais: folha de atividades (veja apêndice C), data-show e régua.

Esta intervenção pedagógica tem a anterior como pré-requisito. De fato, ela usa ideias e discussões que foram desenvolvidas naquela sequência didática, sobretudo o fato de que uma força resultante constante exercida sobre um corpo produz nele uma aceleração constante. Ademais, esta exposição da sequência sobre a primeira lei de Newton é mais sintética uma vez a explicação os seus métodos principais são os mesmos discutido no contexto da sequência sobre a segunda lei.

Cena 1 - Recepção (Intervenção 1ª lei de Newton)

Roteiro:

- Exatamente como na intervenção anterior, enquanto recepciona os estudantes o professor mantém projetada uma imagem singular (figura 37) que remete às questões físicas que serão tratadas.

Figura 37 – Slide 1 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton.



Fonte: Própria autora.

Explicação:

- O objetivo é criar um clima de expectativa e curiosidade, que favoreça o engajamento dos discentes nas atividades que se seguirão.

Cena 2 – Explanação da atividade e promoção de foco (1ª lei de Newton)**Roteiro:**

- Com os estudantes em seus lugares, o professor explica que eles farão uma atividade semelhante à anterior (intervenção da segunda lei) e irão discutir ideias sobre o movimento e examiná-las criticamente, como fazem os cientistas.
- Distribuindo as folhas de atividades (Apêndice C), o professor destaca que ao longo da aula os discentes irão registrar nelas o seu trabalho e deverão entregá-las ao final.

Explicação:

- Como foi pormenorizado na intervenção anterior, as explicações do professor e a distribuição das folhas de atividades tem o objetivo de criar a expectativa de que o discente participará de forma ativa, de que ele não será um ouvinte passivo. A expectativa de atividade como um instrumento poderoso para criar foco e engajamento é discutida na subseção 2.4.

Cena 3 – Como o bloco se move? – mundo real (1ª lei de Newton)**Roteiro:**

- Projetando a imagem do slide da figura 38, o professor informa que, como na aula anterior (intervenção sobre a segunda lei), quer tratar do movimento de um bloco de aço sobre uma superfície de gelo. Porém, ele esclarece que agora tem uma pergunta diferente. Projetando sequencialmente os textos do slide, ele explica a situação física (pista lisa, plana etc.) e lê a questão de número 1. Ele enfatiza que a sua pergunta é sobre o movimento do bloco depois que ele perde contato com a mão que o havia empurrado. Após uma pausa breve para reflexão, o instrutor acrescenta que a sua pergunta se refere ao “mundo real” – *“O que você acha que irá observar se de fato empurrar o bloco no gelo?”*.

Figura 38 – Slide 2 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

Força e movimento

Você empurra um bloco de aço muito liso sobre uma superfície de gelo também lisa e plana.

MUNDO REAL !



1) Como você acha que o bloco se move a partir do momento que ele desencosta da sua mão?

Fonte: Própria autora.

Explicação:

- A questão é propositadamente vaga – comporta resposta que enderecem a trajetória do corpo, a sua velocidade, etc. O objetivo é fazer o aluno se concentrar na atividade, se habituar à sua dinâmica e ainda introduzir a situação-problema da sequência didática.
- A imagem, além de atrair atenção, sintetiza a situação que se propõe examinar, possivelmente aliviando a demanda sobre a memória de trabalho do estudante e, assim, reduzindo a carga cognitiva sobre ele (vide seção anterior e a subseção 2.3)
- A ênfase sobre o aspecto concreto da questão é importante para o letramento científico, também almejado nesta intervenção didática. Ela busca marcar o fato que o objeto das ciências naturais é o universo físico.

Cena 4 – Como varia a velocidade do bloco? (1ª lei de Newton)


Roteiro:

- Com o slide da figura seguinte, o docente faz a pergunta especificamente sobre a velocidade e volta a enfatizar que ela é sobre o movimento do bloco “a partir do momento em ele desencosta com a sua mão”.
- Seguem-se os já explicados momentos de reflexão individual, resposta individual na folha de atividades, discussão em grupo e resposta final. Como antes, é possível incluir o compartilhamento das respostas de voluntários e uma breve discussão com a classe inteira.

Figura 39 – Slide 3 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

Força e movimento

Você empurra um bloco de aço muito liso sobre uma superfície de gelo também lisa e plana.



Outra pergunta:

2) Como a velocidade desse corpo varia a partir do momento que ele desencosta da sua mão?

Fonte: Própria autora.

- Encerradas as discussões, o professor repete a pergunta anterior, agora na forma de múltipla escolha, como se mostra na figura 40.

Figura 40 – Slide 4 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

MÚLTIPLA ESCOLHA

3) Como a velocidade desse corpo varia a partir do momento que ele sai da sua mão?

- A velocidade diminui lentamente o tempo todo até o corpo parar.
- A velocidade não muda.
- A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor constante.
- A velocidade aumenta gradualmente, atinge um valor constante e o mantém por algum tempo e em seguida diminui até o corpo parar.
- A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor máximo e, então, diminui até o corpo parar.
- A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor máximo e, então, diminui até atingir um valor constante e não-nulo.
- Nenhuma das alternativas acima.

Fonte: Própria autora

Explicação:

- O principal propósito da questão 2, e das próximas duas, é estimular o estudante a despertar e explicitar as suas concepções sobre o movimento, para que na sequência

elas possam ser confrontadas com as visões de colegas, com os fatos experimentais e com a mecânica newtoniana.

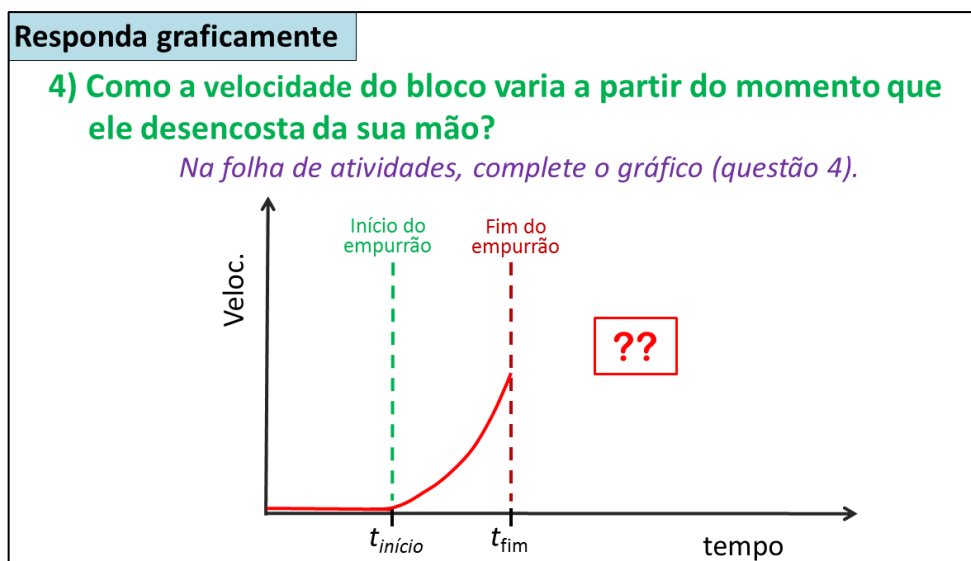
- A descrição verbal do movimento que se espera em resposta à questão 2 será complementada adiante pela descrição gráfica solicitada na questão 4. O objetivo é praticar diferentes representações do movimento.
- Acreditamos que é importante que todos os alunos sejam confrontados com as respostas mais frequentes. Entretanto, em grupo pequeno, é provável que surjam apenas algumas das variantes. A proposição da questão 3 (figura 40 acima) visa apresentar a todos os discentes as respostas que frequentemente aparecem neste contexto.

Cena 5 – Como varia a velocidade do bloco? – gráfico $v \times t$ (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- Usando o slide na figura 41, o professor solicita uma resposta gráfica para a questão 4. Ele informa que nas folhas de atividades há um gráfico como aquele no slide. O docente explica, mostrando o gráfico projetado, que o bloco estava parado sobre o gelo entre os tempos 0 e $t_{\text{início}}$ e começou, então, a ser empurrado por uma pessoa, de modo que a sua velocidade aumentou progressivamente até o tempo t_{fim} . A partir desse momento, cessou o empurrão, o bloco desencostou da mão e prosseguiu o seu movimento. O professor pergunta: “*Como varia a velocidade do bloco a partir do tempo t_{fim} , ou seja, a partir do momento no qual a pessoa perde o contato com o bloco? Por favor, responda na folha de atividades, completando o gráfico.*”
- Seguem-se as respostas individuais, a discussão em pequenos grupos e as respostas finais. A primeira e a segunda resposta são registradas nas folhas de atividade.

Figura 41 – Slide 5 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Explicação:

- Além de prover a prática da descrição gráfica do movimento, a questão 4 permite que os estudantes expressem as suas concepções de uma forma que pode, e será adiante, confrontada com dados experimentais e com a concepção newtoniana.
- Esta cena é dos pontos centrais dessa intervenção didática. Aqui, é especialmente importante que se invista tempo nas discussões em grupo.

Cena 6 – Revisão do método científico (1ª lei de Newton)

Roteiro:


- O professor destaca que foram apresentadas muitas ideias diferentes, mutuamente excludentes, sobre como seria o movimento do bloco.
- Fazendo referência à intervenção anterior (sequência didática sobre a segunda lei), ele propõe que novamente os estudantes busquem a resposta correta usando o método científico. Na sequência, ele utiliza o slide da figura abaixo para rever a sua essência.

Figura 42 – Slide 6 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

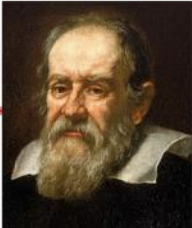
O método científico

Método para distinguir ideias corretas e incorretas, que consiste em testá-las para verificar quais funcionam.

Teste exaustivo e criterioso



Roger Bacon
(1214-1294)



Galileu Galilei
(1564-1642)

Fonte: Própria autora.

- Tendo enfatizado o caráter criterioso e cuidadoso do teste científico, o docente usa um exemplo para ilustrar a sua importância. Projetando o slide na figura II, o professor narra a saga de “der Kluge Hans” (Hans esperto, em alemão), como se segue.

Figura 43 – Slide 7 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

O método científico

Fenômeno extraordinário: Hans (1895 – 1916), o cavalo que sabia aritmética



Fonte: Própria autora.

- No início do século 20, o cavalo Hans, retratado acima, atraiu atenção mundial, por aparentemente ser capaz de realizar operações aritméticas, identificar um pintor, quando mostrado um quadro, dentre outras habilidades extraordinárias. Diversões sí-tios da web contam a sua história, porém a síntese que se segue é baseada no artigo de

Samhita e Gross (2013). O cavalo foi treinado por quatro anos pelo seu dono, o professor de matemática Wilhelm von Osten. Em exposições públicas, Hans podia, com precisão, contar quantas pessoas havia na audiência e efetuar operações aritméticas. O animal respondia batendo com os cascos para indicar um número. Quando solicitado, por exemplo, para efetuar a soma $2+5$, ele batia sete vezes com os cascos. Ele respondia a perguntas de outros tipos da mesma forma – usando uma associação de números e letras ($A \rightarrow 1$, $B \rightarrow 2$, $C \rightarrow 3$, etc) apresentada em um quadro colocado à sua frente. Naturalmente, pensou-se tratar-se de uma fraude e considerou-se como ela poderia ser perpetrada. O treinador poderia, por exemplo, condicionar o animal a dar certa sequência de respostas para uma exposição e nela apresentar perguntas cujas respostas se adequassem a elas. Alternativamente, ele poderia comandar as respostas do cavalo por meio de gestos ou outros sinais discretos para o animal. No entanto, verificou-se que Hans respondia corretamente as questões de pessoas apontadas aleatoriamente, mesmo que von Osten não estivesse presente. O fato é que em 1904 o Comitê Alemão de Educação apontou uma comissão de cientistas para investigar se o fenômeno era genuíno. Após um ano e meio de estudo, ela concluiu que não havia engodo. A maioria da comunidade científica, assim como o público leigo, se convenceu que Hans tinha, de fato, habilidades humanas. Por fim, em 1907 o fenômeno foi elucidado por uma investigação metódica conduzida pelo biólogo Oscar Pfungst. Ele descobriu que Hans não conseguia responder de forma consistentemente correta, se a pessoa que fizesse a pergunta não conhecesse a resposta. Além disso, verificou que Hans também não conseguia responder qualquer pergunta, se fosse colocado um painel que o impedisse de ver quem fazia as perguntas. Por fim, concluiu-se que Hans era um exímio observador dos seres humanos – ele havia aprendido a ler sinais mínimos nas feições do seu mestre de que havia batido, ou estava próximo de bater os cascos, o suficiente para receber a sua recompensa. O próprio Pfungst descobriu que não conseguia evitar os sinais que conduzissem o cavalo à resposta correta, exceto quando não a conhecia ou tinha à sua frente o painel que blindava a visão do cavalo. Em suma, há inúmeras sutilezas e possibilidades de engano quando investigamos o universo à nossa volta. Dessa forma, a cautela e o rigor do teste científico são imperativos para obtermos respostas confiáveis.

- Fechando o assunto, o docente propõe que se volte a examinar a questão do movimento do bloco, exercitando o rigor científico e colocando em xeque as próprias convic-

ções.

Explicação:

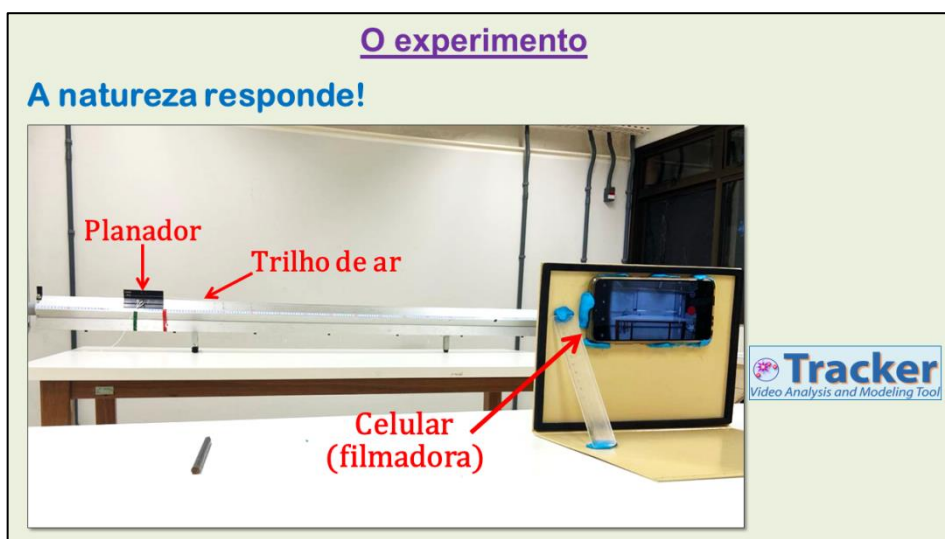
- Como o letramento é um objetivo importante, parece-nos relevante revisitá-lo, como se fez aqui.
- Perceba-se que, mais uma vez, explorou-se o “poder das histórias” (subseção 2.5).

Cena 7 – O experimento (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor informa que para investigar o movimento em questão foi realizado um experimento semelhante àquele tratado na aula anterior, usando o mesmo equipamento e técnicas. Ele sintetiza as explicações na “Cena 8” da intervenção sobre a segunda lei de Newton. Como naquele momento, neste ponto é importante enfatizar a “equivalência” entre a pista de gelo lisa e plana com o trilho com grande fluxo de ar. O instrutor explica o novo experimento da forma que se segue.
- Com o slide da figura 44, rememora o aparato experimental para fazer a filmagem do movimento e a sua análise posterior com o programa Tracker.

Figura 44 – Slide 8 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- No vídeo no slide da figura 45, a autora explica que o movimento do planador foi filmado com diferentes fluxos de ar. Neles, o planador é inicialmente mantido parado. Quando é liberado, o planador é puxado por uma massa em queda, conectada a ele por

uma leve corda de algodão, como no experimento da outra aula. Depois de uma queda curta (~10cm), a massa atinge o solo e o planador prossegue o seu movimento, de forma equivalente ao bloco na pista de gelo, que é empurrado por alguém que posteriormente perde contato com o objeto. O movimento do planador sendo puxado começa com a sua frente na marca verde no trilho e termina ela na marca vermelha. Daqui em diante, o planador não é mais puxado, pois a massa que estava em queda atingiu o chão.

Figura 45 – Slide 9 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- No vídeo contido no slide da figura 46. A autora mostra e explica com mais detalhes o mecanismo de puxamento do planador pela massa em queda.

Figura 46 – Slide 10 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- O professor pergunta se há dúvidas sobre como o experimento funciona e se ficou clara a conexão entre ele e a questões sobre o movimento do bloco no gelo.
- O vídeo do slide na figura 47 contém uma filmagem do movimento do planador a partir do repouso.

Figura 47 – Slide 11 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

Explicação:

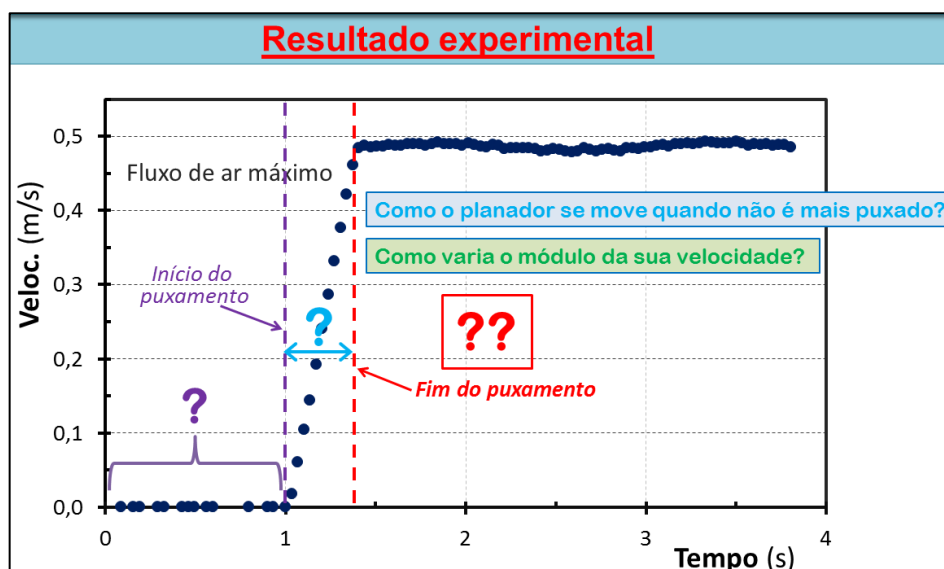
- É crucial que os estudantes entendam o experimento, em particular a conexão dele com a situação-problema do bloco de aço movendo-se sobre uma superfície de gelo. É recomendável perguntar se há dúvidas sobre isto.

Cena 8 – Resultado: como a velocidade varia (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor sintetiza que o movimento do planador com fluxo de ar máximo no trilho foi filmado e analisado com programa Tracker para se obter o gráfico de velocidade x tempo. Ele solicita que os estudantes revejam a sua previsão e passa a apresentar os resultados experimentais utilizando o gráfico na figura 48. Primeiramente o instrutor guia a interpretação das três regiões distintas. Ele ajuda os estudantes a reconhecerem a região da esquerda, na qual o planador estava em repouso, a região central, onde o corpo era puxado por uma força constante e, por fim, a região direita na qual não havia força puxando o planador.

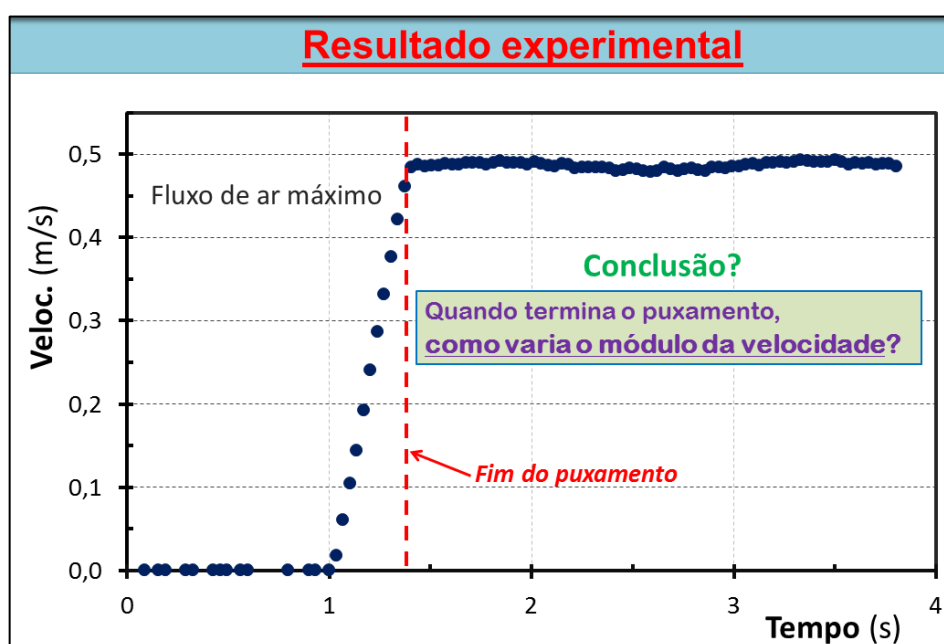
Figura 48 – Slide 12 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- O docente lembrar que a região da direita é a de interesse para responder as questões anteriores sobre o movimento do bloco de aço no gelo quando ele não é mais empurrado (quando “*desencosta da sua mão*”).
- Feita essa observação, o professor usa o gráfico da figura que se para perguntar o que vê na região onde não há força puxando o planador.

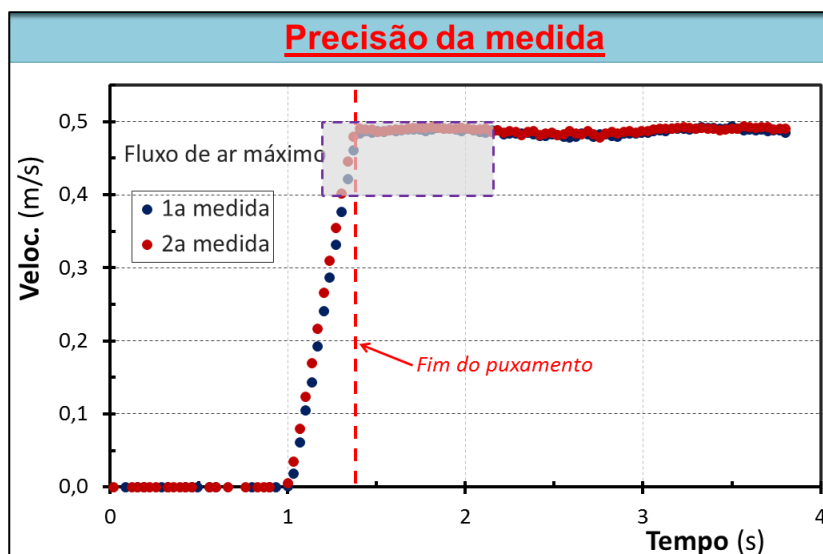
Figura 49 – Slide 13 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

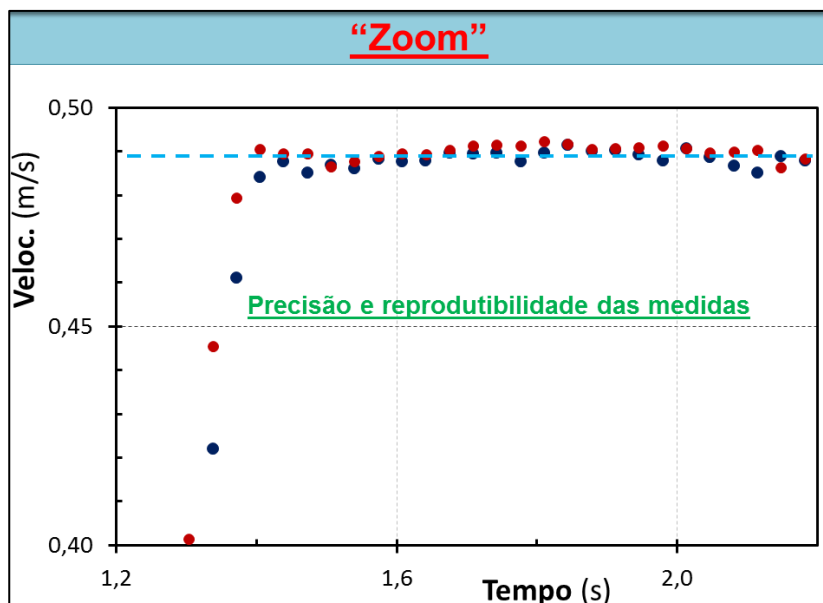


Fonte: Própria autora.

- Não são necessárias elaborações adicionais para que a maioria dos estudantes conclua que a partir do momento que cessa o puxamento a velocidade do planador se mantém constante. Entretanto, há neste ponto a oportunidade de se introduzir a questão da precisão limitadas das medições, caso se disponha de tempo. Segue a discussão.
- O professor expõe sobre a importância de se trabalhar com dados reprodutíveis. Ele pergunta o que se espera de repetições do experimento, nas mesmas condições? Obteremos exatamente os mesmos resultados? Por que não, ou por que sim?
- Em seguida, ele usa o gráfico do slide 14 na figura 50 para mostrar os resultados obtidos de duas repetições do experimento, até onde se pôde controlar, nas mesmas condições. A região destacada pelo retângulo tracejado no gráfico de cima é ampliada no gráfico inferior (“Zoom”). Como se vê, as velocidades obtidas nas duas medições diferem ligeiramente (diferença da ordem de 1%). A reta traceja da azul é a média das duas medidas.

Figura 50 – Slides 14 e 15 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton





Fonte: Própria autora.

Explicação:

- Evidentemente, o objetivo maior aqui é preparar o terreno, criar o conflito cognitivo, para adiante trazer à tona a primeira lei de Newton. Entretanto, nesta seção o foco deve estar no experimento – na modelagem, nos resultados factuais e nos fatos observados – não nas teorias acerca deles.
- Temos aqui mais uma oportunidade de promover o *Tracker* como um instrumento simples e poderoso, acessível ao estudante, para as suas próprias investigações científicas.

Cena 9 – A teoria (1ª lei de Newton)

Roteiro:


- O professor lembra que depois que cessa o puxamento, o planador continua movendo-se (com velocidade constante). Assim, resta um “mistério” – *se não há puxamento, quem mantém o corpo em movimento?* Projetando a parte superior do slide da figura 50, o docente lê a sua pergunta: “*Que força mantém o movimento do planador a partir do instante em que não é mais puxado?*”.

Figura 51 – Slide 16 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

Mistério

5) Que força mantém o movimento do planador a partir do instante em que não é mais puxado?

1ª LEI DE NEWTON:
Quando a resultante das forças que atuam em um corpo for nula, ele se move com velocidade constante;



Fonte: Própria autora.

- Depois de reflexão individual, o professor dá a oportunidade para que alguns estudantes compartilhem com a classe as suas respostas. Em seguida, ele encaminha, o registro das respostas, a discussão em grupos e o registro final das respostas. Como se verá com mais detalhes nas “Observações” desta cena, uma pequena parte dos estudantes respondeu corretamente (nenhuma força), enquanto outros apontaram a “força da inércia”, “da mão”, a força gravitacional etc.
- Continuando, o instrutor pergunta o que diz a primeira lei de Newton. Dadas algumas respostas breves, ele projeta a parte inferior do slide na figura anterior (figura 50), sintetizando a lei. Ele conclui, com isso, que não é necessário haver uma resultante não nula para que um corpo esteja em movimento. Mas, e isso é de suma importância, ele acrescenta que a hipótese de haver uma força resultante não-nula é incompatível com os fatos observados. Repetida essa afirmativa, o instrutor explica que, conforme aprendido na intervenção didática anterior (sobre a segunda lei), se houvesse uma força resultante não-nula, a velocidade do planador não ficaria constante, como foi observado há pouco. Conclusão: depois de cessado o puxamento, não atua sobre o planador uma força resultante significativa.
- Antevendo que a maioria dos estudantes tinha respondido que havia uma força mantendo o movimento do planador, o professor pergunta qual seria a origem dessa ideia, projetando e lendo a questão o slide da figura 52.

bre um corpo, ele transferia para esse corpo algo que se denominou “ímpeto” (um combustível, em termos atuais), que manteria o corpo em movimento, mesmo quando cessasse seu contato com o agente da força. A flecha começaria a cair à medida que esse combustível fosse consumido.

- Retomando a questão do bloco no gelo e do planador no trilho de ar, o professor projeta progressivamente as imagens abaixo da questão no slide anterior (figura 52). Ele explica que ocorreria, de acordo com a teoria do ímpeto: velocidade continuaria a aumentar quando cessasse o puxamento e depois se manteria constante, ou decairia, dependendo de o ímpeto acumulado ser mantido ou dissipado. Contudo, observa o professor, não é o que o experimento revelou – *“vocês concluíram que a velocidade do planador se manteve constante quando o corpo não era mais puxado”*.

Explicação:

- Na cena 8, havia sido criado um conflito cognitivo – o resultado experimental, a constância da velocidade, estava em desacordo com a expectativa da maioria dos alunos de que ela deveria aumentar. Um dos objetivos principais da cena 9 é levar o estudante a racionalizar a sua concepção alternativa, na tentativa de levá-lo posteriormente a substituí-la pela concepção newtoniana. Trata-se também de um exercício no rigor do método científico. A questão 5 oferece ao discente um ponto de partida para que examine as suas ideias. Feita essa reflexão, lhe é oferecida uma alternativa que dá conta dos fatos – a primeira lei de Newton.
- A apresentação da teoria do ímpeto busca oferecer ao discente um novo exame da concepção alternativa e avançar no seu letramento científico. A resistência da concepção alternativa questão parece-nos justificar esta repetição.

Cena 10 – Conciliação com observações cotidianas (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor rememora que os experimentos discutidos, tanto nesta aula, quanto na anterior, foram realizados com aquele fluxo de ar máximo, que torna o trilho extremamente escorregadio (força de atrito muito pequena). Ele utiliza o vídeo para mostrar o efeito de fluxos de ar grande e pequeno no movimento do planador.

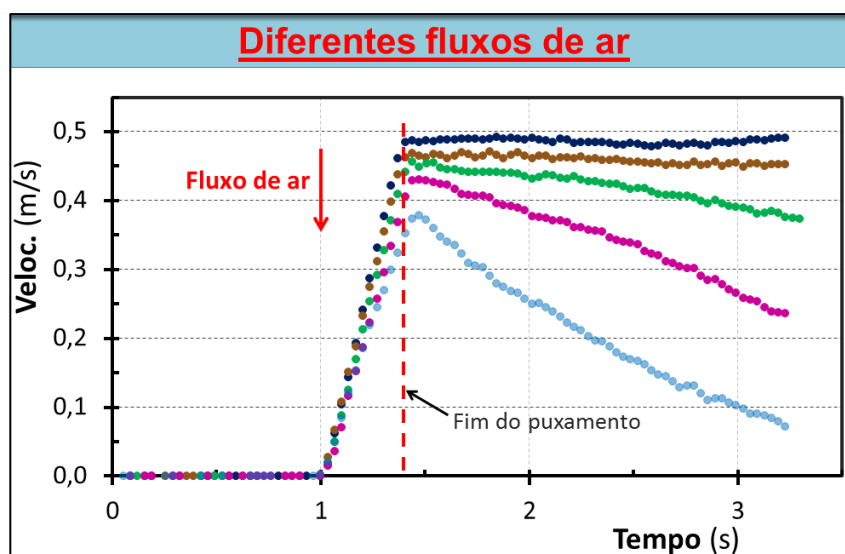
Figura 53 – Slide 18 (com vídeo) da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora.

- Prosseguindo, o docente explica que o movimento do planador com diferentes fluxos de ar foi filmado e analisado com o Tracker. Projetando o slide na figura 54, o professor mostra o gráfico com os resultados obtidos. Ele menciona que a curva no topo corresponde ao fluxo máximo e, as outras descendo, a fluxos progressivamente menores. Com a participação dos estudantes, ele conduz a interpretação dos resultados. A força resultante é essencialmente a de atrito. Ela atua no sentido contrário ao movimento, freando o planador. Assim, de acordo com a segunda lei de Newton, a aceleração se opõe à velocidade e é proporcional à força de atrito que é maior para fluxos de ar menores. Coerentemente, vê-se no gráfico acelerações maiores para fluxo menores. O professor observa que em muitas situações do dia-a-dia há forças de atrito elevadas, que levam os corpos a acelerações grandes – a uma parada rápida, quase instantânea de objeto, assim que cessa a força que o empurra ou puxa.

Figura 54 – Slide 19 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton



Fonte: Própria autora

Explicação:

- O que se deseja aqui é compatibilizar o fenômeno surpreendente para o estudante – a persistência do movimento, sem uma força impulsora – com aquilo que ele comumente observa. A tentativa é levar o discente a enxergar a segunda lei de Newton em ação na transição suave da situação de força de atrito insignificante até aquela de uma força de atrito grande.

Cena 11 – Conclusão e síntese (1ª lei de Newton)

Roteiro:

- O professor sintetizou as conclusões das análises e discussões da aula usando o slide da figura que se segue.

Figura 55 – Slide 20 da sequência didática sobre a primeira lei de Newton

Conclusões:

- Não é preciso ter força para ter movimento;
- 1ª LEI DE NEWTON:**
- Quando a resultante das forças que atuam em um corpo for nula, ele se move com velocidade constante (zero ou não)
- A 1ª e 2ª leis de Newton dão conta de tudo que vimos

Fonte: Própria autora.

- Por fim, o instrutor recolheu as folhas de atividades e despediu-se da turma.

Explicação:

- Depois de um trabalho intenso e, por vez confuso para o estudante, é importante sintetizar organizadamente as conclusões.

3.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE CINEMÁTICA E SUA APLICAÇÃO

Duração: 35-40 minutos.

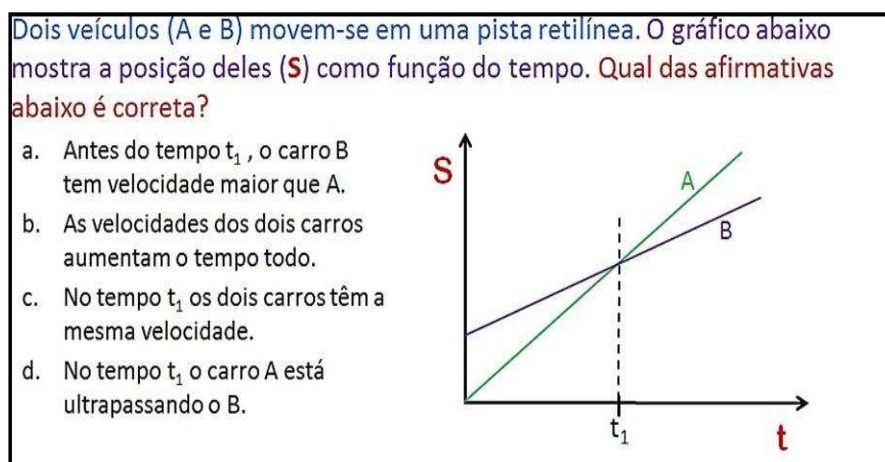
Materiais: datashow.

Cena 1 — Discriminando os conceitos de posição e velocidade e praticando a leitura gráfica (Cinemática)

Roteiro:

- Inicialmente, o professor apresenta aos estudantes o teste conceitual mostrado na figura 56 abaixo;

Figura 56 – Primeiro teste conceitual da sequência didática sobre cinemática



Fonte: Própria autora.

- Em seguida, o professor pode relembrar com os estudantes as definições de velocidade média e instantânea, considerando que a questão não especifica a qual delas se refere;
- Em seguida, é realizado o processo-padrão de resposta e discussão já apresentado: reflexão individual, registro da resposta, alguns alunos apresentam oralmente a sua resposta para a classe, discute-se em pequenos grupos e novamente registra-se as respostas
- Por fim, o professor resolve o teste com a participação da turma, discutindo cada uma das alternativas.

Explicações:

- Considerando que os estudantes, em geral, têm dificuldades em distinguir conceitos fundamentais em cinemática, como posição, velocidade e aceleração. Nesse sentido, o teste tem o propósito de destacar a distinção entre os conceitos de posição e velocidade. Adicionalmente, busca-se praticar a leitura do gráfico de posição em função do tempo.

Cena 2 — Discriminando os conceitos de velocidade e aceleração (Cinemática)

Roteiro

- Primeiramente, o professor projeta o teste conceitual mostrado na figura 57 abaixo;

Figura 57 – Segundo teste conceitual da sequência didática sobre cinemática.

Considere dois carro em movimento. É possível que o primeiro tenha uma **velocidade muito maior** que a segundo e ao mesmo tempo tenha também uma **aceleração muito menor ?? Explique!**

- a. Sim.
- b. Não.
- c. Não sei.

Fonte: Própria autora.

- Em seguida, é realizado o processo-padrão de resposta e discussão;
- Após, o professor constrói a resposta correta com a ajuda dos estudantes.
- Na sequência, o professor projeta a fotografia estroboscópica do salto de um atleta mostrada na figura 58 abaixo. Durante a projeção dessa imagem, ele explica para os estudantes o que é uma fotografia estroboscópica e como ela é feita.

Figura 58 – Ilustração de uma fotografia estroboscópica do salto de um atleta



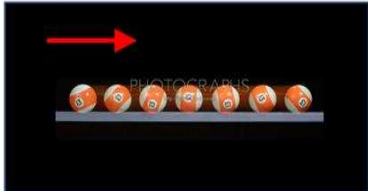
Fonte: getty images.

- Em seguida, o professor apresenta o teste conceitual mostrado na figura 59 abaixo.

Figura 59 – Terceiro teste conceitual da sequência didática sobre cinemática

A foto estroboscópica abaixo, mostra uma bola que se move da esquerda para a direita. É correto afirmar que

- A velocidade e a aceleração são nulas.
- A velocidade não é nula, mas a aceleração é nula.
- A velocidade aumenta durante o movimento.
- Nenhuma das alternativas é correta



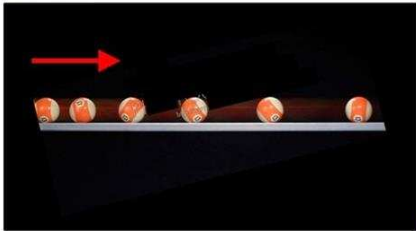
Fonte: Própria autora.

- Após os estudantes concluírem a leitura do teste, eles devem ter um tempo para que reflitam em silêncio e individualmente no problema;
- Em seguida, o professor solicita o compartilhamento de algumas respostas;
- Posteriormente, ele projeta a pergunta mostrada na figura 60 abaixo:

Figura 60 – Quarto Terceiro teste conceitual projetado para os alunos durante a sequência didática sobre cinemática

A foto estroboscópica abaixo, mostra uma bola que se move da esquerda para a direita. É correto afirmar que

- A velocidade e a aceleração são nulas.
- A velocidade e a aceleração não são nulas.
- A velocidade diminui durante o movimento.
- Nenhuma das alternativas é correta.



0% 0% 0% 0%

a. b. c. d.

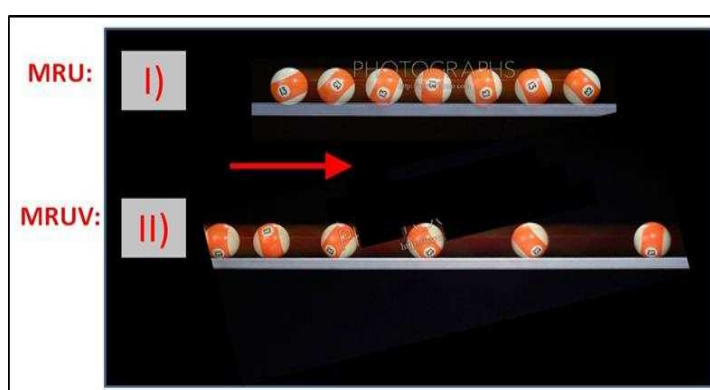
5

Fonte: Própria autora.

- Após os estudantes terem um momento de reflexão individual e silenciosa sobre o problema, o professor pode pedir a alguns que apresentem sua resposta e justifiquem sua escolha para a classe.
- Em seguida, o docente projeta a figura 61 mostrada abaixo e explica que a parte I

da figura é uma fotografia estroboscópica de uma bola, deslocando-se para a direita com velocidade constante. Nessa imagem, obtida em um ambiente escuro, com uma lâmpada que pisca periodicamente, mantendo-se aberto o diafragma da câmera, captura-se a posição da bola em diferentes momentos, regularmente espaçados. Analogamente, na parte II são mostradas as posições de uma bola com aceleração constante em diferentes tempos.

Figura 61 – Sequência de fotografias estroboscópicas de uma bola de bilhar deslocando-se no sentido da seta



Fonte: Própria autora.

Legenda: Na figura I) a bola se move com movimento retilíneo uniforme (MRU), enquanto na imagem II), apresenta movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV)

- Por fim, o professor pode realizar uma síntese, com a participação da turma, das observações e conclusões a respeito do movimento da bola mencionada no terceiro e no quarto teste conceitual.

Explicações: Os três testes anteriores destacam a distinção entre velocidade e aceleração, como mencionado anteriormente, esses conceitos não são discriminados por diversos estudantes.

Cena 3 — Distinguindo a curva de posição em função do tempo da trajetória e praticando a leitura gráfica (Cinemática)

Roteiro:

- Primeiramente, professor apresenta a questão mostrada na figura 62 abaixo:

Figura 62 – Quinto teste conceitual da sequência didática sobre cinemática

Um monge saiu do mosteiro às 4h da manhã e caminhou por uma estrada até o topo de uma montanha. Lá ele passou a noite em oração e na manhã seguinte, novamente às 4h, tomou a mesma estrada e voltou ao mosteiro.



O monge passou por algum ponto da estrada na mesma hora nos dois dias?

a. **Certamente não.**

b. **Certamente sim.**

c. **Depende do modo como ele caminhou.**



8

Fonte: Própria autora

- Após os estudantes lerem o teste, o professor pode reexplicá-lo para que os discentes o compreendam e pensem no problema certo.
- Em seguida, o professor explica o significado do trecho “algum ponto da estrada no mesmo horário” do enunciado.
- Depois disso, os estudantes devem ter alguns minutos para pensarem na pergunta, individualmente e em silêncio. Terminado esse tempo, eles compartilham suas respostas.
- Para auxiliarem os estudantes a construírem a resposta correta, o professor pode esboçar diferentes curvas no gráfico de posição versus tempo simulando a caminhada do monge desde sua saída do mosteiro às 4 horas da manhã até a sua chegada ao topo da montanha e ajudar os discentes a realizarem a leitura de cada uma delas.
- Nesse momento, o professor pode ressaltar que as curvas no gráfico não representam trajetória, e sim como a posição do monge varia com o tempo.
- Depois disso, o professor pode solicitar aos discentes que construam curva que possam representar a volta do monge ao mosteiro.
- Em seguida, o professor pode ajudar os estudantes a interpretarem a interseção entre as curvas de ida e volta.

Explicações:

- O propósito do quinto teste conceitual é duplo. Com efeito, busca-se estimular os estudantes a leitura gráfica e auxiliá-los a distinguir a curva de posição como função do tempo da trajetória.

4 Considerações finais

As três sequências didáticas desenvolvidas neste trabalho foram elaboradas tendo em mente turmas da primeira série do Ensino Médio. Contudo, parece crível que elas possam igualmente trazer benefício para estudantes de disciplinas introdutórias de mecânica no Ensino Superior. Elas foram elaboradas para serem “revisitas” breve a conceitos fundamentais de mecânica, identificados como desafiadores para a maioria dos estudantes. Em outras palavras, elas devem ser aplicadas depois que o estudante já estudou o conteúdo relacionado. Assim, as três sequências podem ser utilizadas depois, idealmente poucas semanas depois, que a turma cobriu o conteúdo de cinemáticas e leis de Newton. A sequência sobre a segunda lei de Newton tem que preceder aquela sobre a primeira lei. Com efeito, a intervenção relacionada com a primeira lei utiliza resultados e informações advindas do trabalho com a segunda lei. Por outro lado, a intervenção sobre cinemática independe das outras.

Em todas as sequências didáticas, o tempo necessário pode, em certa medida, ser compatibilizado com um tempo de aula menor, eliminando-se algumas questões preparatórias e controlando o tempo das discussões em grupo. Contudo, essas discussões entre os discentes sobre as questões centrais devem ser preservadas.

Espera-se que o uso deste material didático promova maior engajamento e interesse dos estudantes, tanto durante quanto após as atividades, como verificado em um teste preliminar de aplicação.

Referências

CLEMENT, J. Students' preconceptions in introductory mechanics. **American Journal of Physics**, College Park, v. 50, n. 1, p. 66–71, 1982.

CROUCH, C. H. *et al.* Peer Instruction: Engaging Students One-on-One, All At Once. **Research-Based Reform of University Physics**, v. 1, n. 1, p. 40-95, 2007.

CROUCH, C. H.; MAZUR, E. Peer instruction: ten years of experience and results. **American Journal of Physics**, College Park, v. 69, n. 9, p. 970-977, sep. 2001

HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force Concept Inventory. **The Physics Teacher**, College Park, v. 30, n. 3, p. 141-158, mar. 1992.

JAMES, M. C.; WILLOUGHBY, S. D. Listening to students conversations during clicker questions. **American Journal of Physics**. College Park, v. 79, n. 1, p. 123-132, Jan. 2011.

JAMES, M. C. The effect of grading incentive on students discourse in peer instruction. **American Journal of Physics**. College Park, v. 74, n. 8, p. 689-691, 2006.

LASRY, N. Clickers or flashcards: is there really a difference? **The Physics Teacher**. College Park, v. 46, n. 4, p. 242-244, abr. 2008.

LOPES, A. M. **Combinando metodologia de ensino Peer Instruction com Just-in-Time Teaching para o ensino de Física. 2016.** Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

MAZUR, E. **Peer Instruction: A User's Manual.** Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997. 257p.

PACCA, J. L. de A. **A lei da inércia: planejamento pedagógico e aprendizagem.** 1. ed. Curitiba: Appris, 2018. 184 p.

PIAGET, J. **A equilibração das estruturas cognitivas: problema central do desenvolvimento.** Tradução de Marion Merlone dos Santos Penna. Rio de Janeiro: Zahar, 1976. 175 p.

PIAGET, J. **O nascimento da inteligência na criança.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982. 392 p.

RUHL, K. L.; HUGHES, C. A.; SCHLOSS, P. J. Using the pause procedure to enhance lecture recall. **Education and Special Education**, v. 10, p. 14-18, 1987.

SAMHITA, L.; GROSS, H. J. The “Clever Hans Phenomenon” revisited. **Communicative & Integrative Biology**, v. 6, n. 6, p. e27122, 2013.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205–221, 1979.

WILLINGHAM, D. T. **Por que os alunos não gostam da escola? Respostas da ciência cognitiva para tornar a sala de aula atrativa e efetiva.** Tradução de Marcos V. M. da Silva. Porto Alegre: Artmed, 2011. 206 p.

WOELK, K. Optimizing the use of personal response devices (clickers) in large-enrollment introductory courses. **Journal of Chemical Education**. Washington, v. 85, n. 10, p. 1400-1405, oct. 2008.

APÊNDICE B – Folha de atividades sobre a segunda lei de Newton

NOME:	SÉRIE:
ESCOLA:	DATA: ___/___/___

- 1) Uma força maior atuando sobre um corpo o leva a uma velocidade maior? Justifique.

1ª resposta:

2ª resposta:

- 2) Como você acha que o bloco se move enquanto você o empurra (com força constante)?

1ª resposta:

2ª resposta:

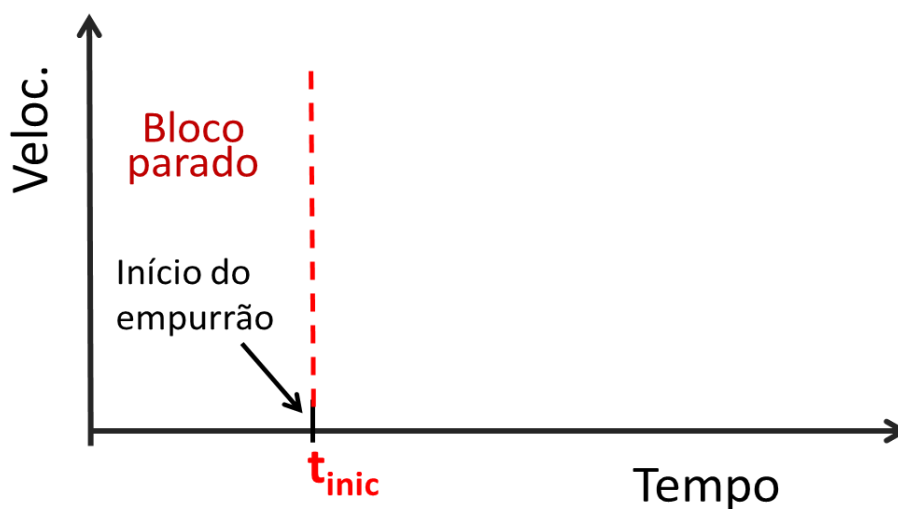
- 3) Como a velocidade desse corpo varia enquanto você o empurra (com força constante)?

1ª resposta:

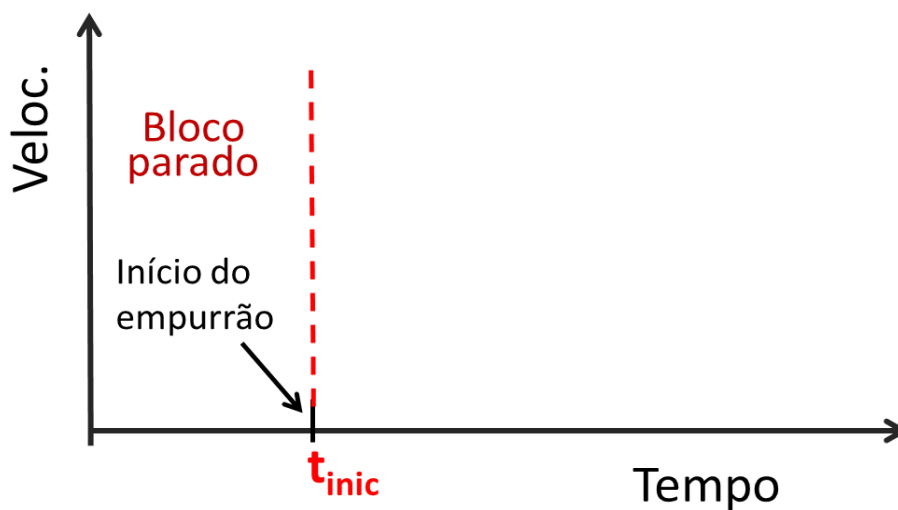
2ª resposta:

- 4) Esboce como a velocidade do bloco varia enquanto você o empurra com força constante.

1ª resposta:



2ª resposta:



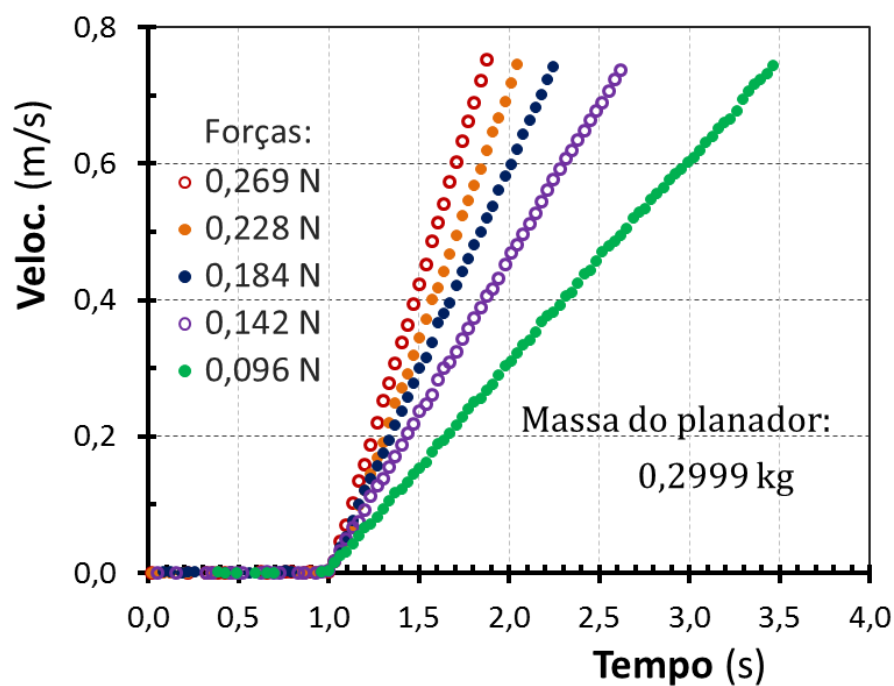
- 5) Uma força menor atuando sobre o planador o leva a uma velocidade menor? Justifique.

1ª resposta:

2ª resposta:

6) Calcule a aceleração do planador para um dos movimentos mostrados a partir:

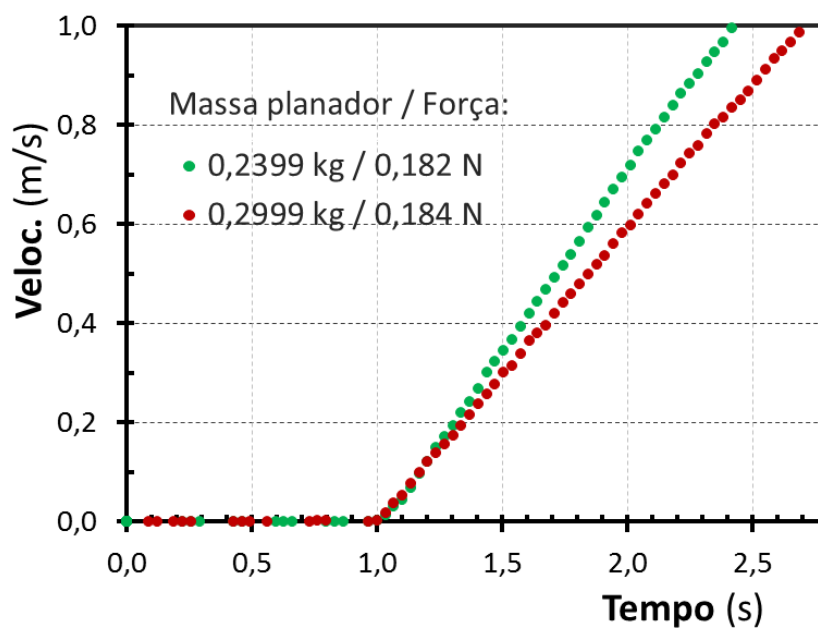
a. Do gráfico.



b. Da segunda lei de Newton.

7) Para cada uma das massas, calcule a aceleração do planador a partir:

a. Do gráfico.



b. Da segunda lei de Newton.

- 8) É possível um corpo se mover num sentido quando atua sobre ele uma força em sentido oposto? Justifique.

1ª resposta:

2ª resposta:

APÊNDICE C - Folha de atividades sobre a primeira lei de Newton

NOME:	SÉRIE:
ESCOLA:	DATA: ___/___/___

- 1) Como você acha que o bloco se move a partir do momento que ele sai da sua mão?

1ª resposta:

2ª resposta:

- 2) Como a velocidade desse corpo varia a partir do momento que ele sai da sua mão?

1ª resposta:

2ª resposta:

- 3) Como a velocidade desse corpo varia a partir do momento que ele sai da sua mão?

1ª resposta:

- A velocidade diminui muito lentamente até o corpo parar.
- A velocidade não muda.
- A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor constante.
- A velocidade aumenta gradualmente, atinge um valor constante e o mantém por algum tempo e em seguida diminui até o corpo parar.
- A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor máximo e, então, diminui até o corpo parar.

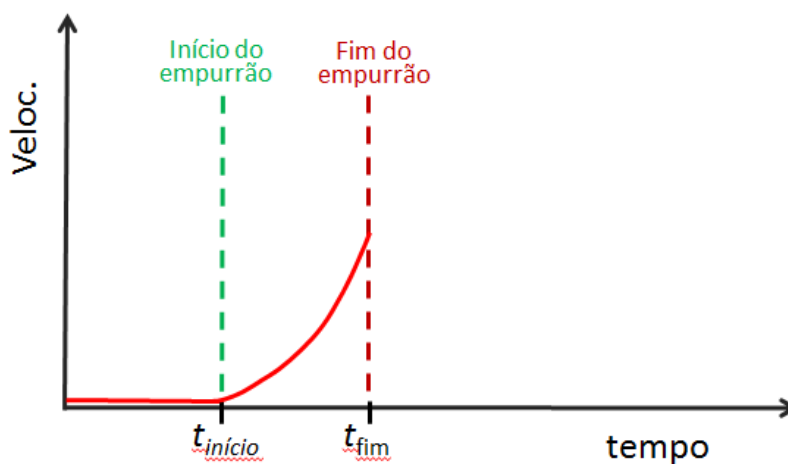
- f. A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor máximo e, então, diminui até atingir um valor constante e não-nulo.
- g. Nenhuma das alternativas acima.

2ª resposta:

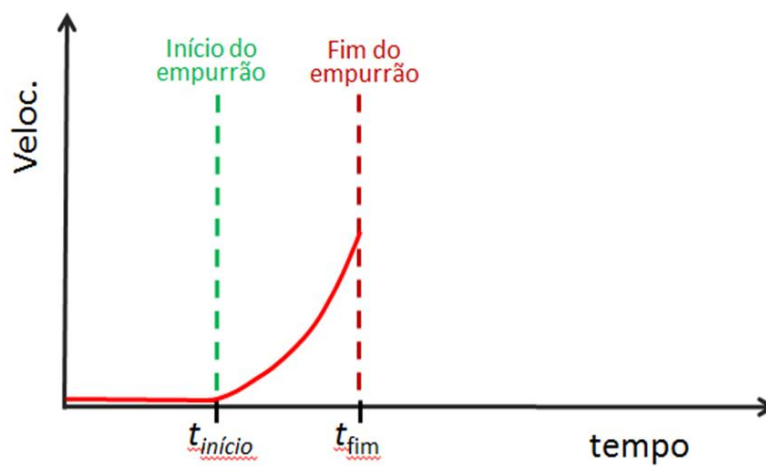
- a. A velocidade diminui muito lentamente até o corpo parar.
- b. A velocidade não muda.
- c. A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor constante.
- d. A velocidade aumenta gradualmente, atinge um valor constante e o mantém por algum tempo e em seguida diminui até o corpo parar.
- e. A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor máximo e, então, diminui até o corpo parar.
- f. A velocidade aumenta gradualmente até atingir um valor máximo e, então, diminui até atingir um valor constante e não-nulo.
- g. Nenhuma das alternativas acima.

- 4) Como a velocidade do bloco varia a partir do momento que ele sai da sua mão? Complete o gráfico abaixo.

1ª resposta:



2ª resposta:



- 5) Que força mantém o movimento do planador a partir do instante em que não é mais puxado?

1ª resposta:

2ª resposta: