



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**TUTORIAIS EM ATIVIDADES DE APOIO A INGRESSANTES NA  
UNIVERSIDADE**

Hugo dos Reis Detoni

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es):  
Carlos Augusto Domingues Zarro  
Marta Feijó Barroso

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2016

TUTORIAIS EM ATIVIDADES DE APOIO A INGRESSANTES NA  
UNIVERSIDADE

Hugo dos Reis Detoni

Orientador(es):  
Carlos Augusto Domingues Zarro  
Marta Feijó Barroso

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Dr. Marta Feijó Barroso (Presidente)

---

Dr. José Augusto Oliveira Huguenin

---

Dr. Eduardo Lima Rodrigues

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

- D482t Detoni, Hugo dos Reis  
Tutoriais em Atividades de Apoio a Ingressantes na  
Universidade / Hugo dos Reis Detoni - Rio de Janeiro: UFRJ / IF,  
2016.  
viii, 179 f.: il.;30cm.  
Orientadores: Carlos Augusto Domingues Zarro e Marta Feijó  
Barroso  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino  
de Física, 2016.  
Referências Bibliográficas: f. 58-61.  
1. Ensino de Física. 2. Tutoriais. 3. Retenção. 4. Apoio  
Pedagógico. I. Zarro, Carlos Augusto Domingues, orient. II. Barroso,  
Marta Feijó, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de  
Física, orient.. III. Tutoriais em Atividades de Apoio a Ingressantes na  
Universidade.

Dedico esta dissertação a meus avós Marlene e Francisco (*in memoriam*).

## **Agradecimentos**

À minha família pelo constante incentivo.

Ao professor Carlos Zarro pela grande ajuda com o apoio pedagógico e pelas conversas animadoras.

À professora Marta Barroso pelas sugestões feitas ao trabalho e pelas discussões esclarecedoras.

Ao Gustavo Rubini pelo auxílio com o sistema AtenaME.

A todos os alunos monitores do apoio pedagógico em Física de 2016.1 pelo forte comprometimento com o projeto.

Aos professores e funcionários do PEF UFRJ pela dedicação em contribuir com uma formação de excelência.

## RESUMO

### TUTORIAIS EM ATIVIDADES DE APOIO A INGRESSANTES NA UNIVERSIDADE

Hugo dos Reis Detoni

Orientador(es):

Carlos Augusto Domingues Zarro

Marta Feijó Barroso

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A retenção dos alunos ingressantes é uma grande preocupação dos cursos do segmento STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), especialmente no Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Recentemente, a sanção da Lei nº 12.711 de 29 de agosto de 2012 – que garantiu acesso à universidade a alunos em situação de vulnerabilidade social agravou o quadro de altos índices de reprovação e abandono. Com o intuito de revertê-lo foram implementadas aulas de apoio pedagógico aos alunos ingressantes matriculados na disciplina de física básica. Esperava-se também que esta medida ajudasse a reduzir o desencontro entre o conhecimento trazido pelo aluno e aquele necessário ao prosseguimento do curso. No entanto, o apoio pedagógico vem apresentando resultados discretos desde sua criação. Neste trabalho descreve-se uma intervenção por meio do uso de tutoriais, criados a partir das concepções prévias em física documentadas ao longo das últimas décadas, voltados à aprendizagem dos conceitos básicos em física e ao aprimoramento da habilidade de raciocínio crítico. A eficácia dessa abordagem é avaliada por meio de pré-testes e pós-testes e os dados preliminares sugerem que a intervenção tem tido bons resultados em algumas unidades, enquanto outras necessitam de forte aprimoramento. Esta abordagem tem como resultado adjacente desejado a recuperação de alunos fracamente preparados, contribuindo para a diminuição da reprovação.

Palavras-chave: Ensino de Física, Tutoriais, Retenção, Apoio Pedagógico.

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2016

## **ABSTRACT**

### **IMPLEMENTING TUTORIALS AS HELP-OUT ACTIVITIES FOR FRESHMEN PHYSICS STUDENTS**

Hugo dos Reis Detoni

Supervisor(s):

Carlos Augusto Domingues Zarro

Marta Feijó Barroso

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

Retention of freshmen students is a major issue at STEM careers in general, including the Physics Institute of the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ). In a former study some of the students' most common difficulties were documented, among which poor reasoning skills play an important role. The recent passing of a law of quotas has strongly worsened this scenario. In order to bridge the gap between pre-college students and traditional university curriculum, help-out classes were implemented. However, results are still not living up to expectations. The present work describes an attempt to reverse the situation through direct intervention in the course material used in help-out classes. Inquiry-oriented tutorials have been developed and used during such classes and students' conceptual understanding was pre- and post-tested. This approach also aimed for the recovery of underprepared students. Results indicate that in specific contents high gain has occurred. On the other hand, other units still put forward defying challenges to be overcome.

Keywords: Physics education, Tutorials, Retention, Support for Underprepared Students.

Rio de Janeiro  
December 2016

## Sumário

Capítulo 1	Introdução	1
Capítulo 2	O primeiro ano de um curso universitário na área de ciências exatas e tecnologia	4
	2.1. Relato sobre as disciplinas de física do primeiro ano universitário	5
	2.2. A redução da evasão no primeiro ano e a proposta de apoio pedagógico	7
	2.3. Implementação de projeto de apoio pedagógico	10
	2.4. A estrutura atual do projeto de apoio pedagógico	13
Capítulo 3	Aprendizagem: conceitos, objetivo e avaliação	17
	3.1. Cognição	17
	3.2. Aprendizagem em Física	21
	3.3. Concepções prévias em Física e senso mecânico	23
	3.4. Utilização de atividades em formato de tutorial	26
	3.5. Avaliação da aprendizagem	28
Capítulo 4	Desenvolvimento do trabalho	33
	4.1. Observação preliminar	34
	4.2. Desenvolvimento dos tutoriais	35
	4.3. Aplicação preliminar dos tutoriais	36
	4.4. Aplicação definitiva dos tutoriais	37
	4.5. Avaliação da eficácia dos tutoriais	38
	4.6. Análise dos resultados	42
Capítulo 5	Resultados	44
	5.1. Resultados em cada unidade	46
	5.2. Algumas considerações qualitativas sobre os resultados	53
	5.3. O limite dos testes	55
Capítulo 6	Considerações finais	57
	Referências	59
Apêndice I	Relato da observação preliminar do apoio pedagógico	A1: 1- 4
Apêndice II	Tutoriais	A2: 1-65
Apêndice 3	Guia do Professor	A3: 1-32
Apêndice 4	Pré-testes e pós-testes	A4: 1-16

# Capítulo 1

## Introdução

O desinteresse de grande parte dos jovens pelas carreiras do segmento STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) não se caracteriza como fenômeno do século XXI; pelo contrário, este quadro sempre se fez presente e tem se intensificado fortemente desde o final do século XX. É natural, portanto, que este fenômeno ocasione a carência de profissionais em determinadas áreas do mercado de trabalho. Por este motivo, as universidades têm demonstrado crescente interesse em reduzir a evasão universitária, aumentando os índices de permanência, e consequentemente o número de profissionais que completam com sucesso o curso que frequentam.

Em contrapartida, este esforço implica necessariamente dedicar mais atenção ao entendimento dos aspectos cognitivos, sociais e emocionais que desempenham importante papel no processo de ensino-aprendizagem, uma vez que a evasão pode ser vista em grande parte como admissão de fracasso [Almeida et al, 2001]. As pesquisas centradas nestas questões têm tomado força desde a segunda metade do século XX, culminando na criação de diversas linhas de pesquisa em ensino. Dentre estas se inclui a linha de Pesquisa em Ensino de Física (*PER – Physics Education Research*), que tem como alguns de seus objetivos a identificação e sistematização das principais dificuldades enfrentadas pelos alunos na disciplina de física, bem como o desenvolvimento de materiais didáticos e estratégias educacionais voltadas para estas dificuldades.

É fato já reconhecido que a instrução considerada tradicional – aquela que ignora a possibilidade de que a percepção dos alunos e dos professores sejam diferentes em relação ao conteúdo – não resulta em um entendimento conceitual coerente e na superação das dificuldades conceituais [McDermott, 1993]. Uma ferramenta que tem se mostrado particularmente eficaz é o desenvolvimento de atividades em formato de tutoriais, gerando nos alunos um conflito entre as ideias que eles possuem e as ideias cientificamente aceitas, de forma a fazê-los refletir e melhorar sua concepção dos conceitos em ciências [Finkelstein e Pollock, 2005; McDermott, 2014]. Nestes tutoriais

os alunos são levados a confrontar suas concepções prévias com aquelas cientificamente aceitas por meio de tarefas gradativamente orientadas, sendo solicitados ao final que julguem pela aplicabilidade de uma ou de outra com base em suas conclusões.

Neste trabalho foram desenvolvidos tutoriais voltados aos conteúdos ministrados na primeira metade do curso de Física I para os alunos de graduação matriculados no curso de Bacharelado em Física na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Estas atividades foram utilizadas durante as aulas de apoio pedagógico oferecidas aos alunos, com a finalidade de suplementar a instrução recebida nas aulas tradicionais.

Para avaliar a eficácia dos tutoriais foram desenvolvidos e aplicados pré-testes e pós-testes, compostos por itens conceituais de múltipla-escolha. Esses testes utilizaram um sistema desenvolvido no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento em Ensino de Matemática e Ciências (LIMC) que possibilita a geração de testes aleatorizados e a correção de forma automatizada, o sistema AtenaME. A comparação entre os resultados desses testes (pré e pós-instrução) permitiu inferir se os tutoriais exerciam influência positiva ou negativa sobre a estrutura cognitiva dos estudantes por meio do estabelecimento de alguns indicadores.

No Capítulo 2 discute-se brevemente a estrutura do primeiro ano de um curso na área de ciências exatas e tecnologia na UFRJ, incluindo a criação e estrutura do projeto de apoio pedagógico oferecido aos estudantes.

No Capítulo 3 apresentam-se alguns conceitos importantes para melhor entendimento do referencial teórico aqui utilizado, bem como o importante papel que os tutoriais exercem dentro desta visão.

No Capítulo 4 descreve-se a metodologia utilizada neste trabalho, detalhando a construção e aplicação dos exercícios tutoriais e dos testes, assim como os indicadores utilizados para aferição da eficácia dos tutoriais.

O Capítulo 5 apresenta os dados obtidos a partir da aplicação dos testes acompanhados de sua interpretação por item, inferindo possíveis resultados positivos ou negativos provenientes da utilização dos tutoriais. Discute-se também a natureza qualitativa dos indicadores definidos para este trabalho e alguns limites impostos à capacidade de medição dos testes.

O Capítulo 6 apresenta algumas considerações finais, indicando a necessidade de mais pesquisas voltadas ao aprimoramento dos tutoriais e dos testes, bem como a contribuição do ambiente fornecido pelas aulas de apoio pedagógico à eficácia do método.

Na seção de Apêndices apresentam-se os instrumentos desenvolvidos para este trabalho – tutoriais, guia do professor e testes – acompanhados de uma análise em forma de relato do ambiente gerado pelas aulas de apoio pedagógico.

## Capítulo 2

### O primeiro ano de um curso universitário na área de ciências exatas e tecnologia

Ao ingressar nos cursos das áreas de ciências exatas e tecnologia na Universidade Federal do Rio de Janeiro, a primeira disciplina de física cursada pelos alunos é, quase sempre, Física I, que corresponde a um curso introdutório de mecânica básica. As características da UFRJ, e em particular do Instituto de Física, que é responsável pelas disciplinas de física em quase todos os cursos na universidade, revelam que os professores têm boa formação e participam ativamente em pesquisas.

A disciplina de Física I é, na maior parte das vezes, lecionada de forma tradicional, na qual o professor expõe o conteúdo e levanta questionamentos, enquanto os alunos assistem à aula de forma passiva. Há disponibilidade de recursos audiovisuais e experimentos, mas ainda assim o professor tem o papel central no decorrer da aula. A opção por esta metodologia provavelmente vem da hipótese, implícita, que os alunos possuem uma formação que os permite acompanhar o curso sem grandes dificuldades. Além disso, pressupõe que os alunos sejam capazes de estudar individualmente. A interação professor-aluno é limitada à sala de aula, estendendo-se eventualmente a diálogos fora de sala em torno de alguma dúvida do aluno. O aluno também dispõe de um atendimento por monitores em horários definidos.

Ainda no primeiro semestre do curso e de forma concomitante com Física I, os alunos cursam a disciplina Física Experimental I. As aulas são ministradas em laboratórios com equipamentos simples e são realizados experimentos de mecânica básica pelos alunos após discussão com o professor dos objetivos a serem alcançados.

O resultado nas disciplinas de primeiro período, Física I e Cálculo I, impacta na continuidade do curso. A sequência de disciplinas (Física II, III e IV) exige a aprovação em Física I, e também em Cálculo I. No entanto, o desempenho dos alunos nas disciplinas tem se mostrado insatisfatório ao longo do tempo.

## **2.1. Relato sobre as disciplinas de física no primeiro ano universitário**

A reforma universitária brasileira nas décadas de 1960/70 fez com que as disciplinas específicas dos diferentes cursos passassem a ser oferecidas por professores, reunidos em departamentos e institutos, especializados na área de estudo. Foi criado, entre outros, o Instituto de Física na UFRJ e, atraídos em seguida, pesquisadores em física para a instalação e expansão de suas atividades.

Os cursos da área de ciências exatas e tecnologia incluem, na formação curricular de seus alunos, as disciplinas de Física. O Instituto de Física oferece a todos esses cursos as disciplinas de Física I a IV, tanto teóricas quanto experimentais, e outras solicitadas pelas unidades responsáveis pelo curso.

A disciplina de Física I é ministrada simultaneamente às disciplinas de Cálculo I e Física Experimental I, em geral no primeiro período, para os estudantes recém-ingressantes no curso universitário. O número de inscritos em Física I costuma superar um milhar. Os índices de reprovação nessa disciplina (bem como em Cálculo I) são sempre muito altos, superiores em média a 30%.

A partir de 1980, as disciplinas de Física passaram a ser ministradas por docentes com formação em física, em sua maioria (hoje, em sua totalidade) com doutorado em física e atividades de pesquisa, e de forma unificada (coordenação conjunta e provas unificadas). Em 1998, por demanda da Escola Politécnica (que oferece os cursos de Engenharia, e com o maior número de estudantes do total na física básica), as disciplinas de física perderam o caráter unificado (turmas separadas, sem coordenação e provas unificadas). Mais recentemente, novamente por solicitação da Escola Politécnica, as disciplinas foram unificadas.

Neste longo período, diversas experiências e intervenções educacionais foram realizadas nas disciplinas, em particular na disciplina de Física I. Há poucos relatos escritos sobre estas experiências, que permanecem na memória de professores mais antigos na instituição. Uma das informações conhecidas pelos professores é que a evasão do curso universitário é dominante no primeiro ano do curso.

Um relato de uma dessas experiências está apresentado em um conjunto de artigos [Almeida et al, 2001; Barroso e Falcão, 2004]. Neste relato, foi feito o

acompanhamento do desempenho de estudantes dos cursos de Física, Astronomia e Meteorologia durante o período de 1993 a 2000.

No trabalho, relata-se que entre os anos de 1993 e 1996, o índice de aprovação na disciplina de Física I (excluindo-se do cômputo os alunos que abandonam sem efetuar o trancamento) nos cursos de física, meteorologia e astronomia variou de 10% (1996) a 55% (1995), com média de 45% de alunos aprovados. Neste mesmo período o índice de abandono na disciplina variou de 10% (1994) a 39% (1995), com média de 26% [Almeida et al, 2001]. Ainda segundo este estudo, três principais tipos de dificuldades enfrentadas pelos alunos ingressantes foram identificados: a falta de domínio da linguagem – englobando tanto a capacidade de expressão e compreensão em língua portuguesa quanto a linguagem matemática utilizada pela física; a falta de percepção da existência de um método científico aplicável à física; e a inadequação de hábitos e métodos de estudo utilizados durante o ciclo pré-universitário.

Neste relato [Almeida et al, 2001; Barroso e Falcão, 2004], apresenta-se uma intervenção metodológica realizada na disciplina de Física I. As disciplinas teórica e experimental foram unificadas informalmente. A metodologia adotada envolvia a discussão conceitual dos tópicos do programa em “aulas magnas” apresentadas em anfiteatros com discussão de experimentos e recursos audiovisuais, seguida de aulas para discussão desses tópicos, tanto do ponto de vista teórico quanto experimental, nas quais a participação ativa do aluno era exigida e necessária, com resolução de exercícios acompanhada pelo professor e monitores,

Esta metodologia obteve grande sucesso se comparada à abordagem tradicional, com índices de aprovação superiores à média dos outros anos, além de ter contribuído para recuperar grande parcela dos alunos que apresentava inicialmente fraco desempenho em Física I. Baseando-se nestes resultados, concluiu-se que as dificuldades inicialmente apresentadas pelos alunos se mostraram reversíveis porque a metodologia de ensino adotada estabeleceu condições sociais e institucionais para o crescimento intelectual dos estudantes. Outro resultado obtido neste trabalho [Barroso e Falcão, 2004] foi a redução significativa da evasão nos referidos cursos.

A intervenção metodológica descrita nesses artigos exemplifica a preocupação de uma parcela da comunidade acadêmica com os indicadores de evasão e retenção, e portanto de conclusão, em seus cursos. Observa-se que os estudantes entram cada vez

mais despreparados em cursos universitários, como consequência das características do ensino médio no país. Este momento, o da transição do ensino médio para o curso universitário, requer adaptação por parte dos estudantes em relação às novas disciplinas estudadas, que serão exploradas em maior grau de profundidade e exigirão maior capacidade de raciocínio, além de domínio de conceitos que teriam sido apreendidos durante a educação básica.

Discute-se a seguir a situação da transição na literatura de pesquisa em ensino e as mudanças causadas no Brasil pelas políticas públicas adotadas a partir de 2004.

## **2.2. A redução da evasão no primeiro ano e a proposta de apoio pedagógico**

Ao longo das últimas décadas, muitas inovações pedagógicas baseadas em pesquisas em ensino foram implementadas em universidades, principalmente americanas, com a finalidade de promover melhor entendimento da física conceitual. Como exemplos, pode-se mencionar *Tutorials in Introductory Physics* [McDermott e Shaffer, 2002a], *Peer Instruction* [Mazur, 2015], *Physics by Inquiry* [McDermott e Shaffer, 1996], e outros. Além do desenvolvimento destes novos materiais, a comunidade acadêmica tem constantemente voltado sua atenção ao desencontro entre os conhecimentos e capacidades dos alunos ingressantes na universidade e o currículo que lhes é ensinado [McDermott, 1991]. Este desencontro é fortemente agravado à medida em que muitos destes alunos enfrentam graves dificuldades que envolvem tanto conceitos básicos de física e matemática quanto a capacidade de raciocínio lógico e abstrato.

Por outro lado, existem os alunos matematicamente bem preparados para a vida universitária, que embora apresentem dificuldades conceituais similares àqueles citados anteriormente, oferecem grande resistência ao currículo por se sentirem desmotivados e conseqüentemente abandonam o curso. Desta forma, a retenção dos alunos do segmento STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) tem sido uma grande preocupação da comunidade acadêmica internacional, levando a diversas intervenções no material e na estrutura dos cursos. Dentre as medidas adotadas, destaca-se a distribuição dos alunos academicamente despreparados em turmas específicas de acordo

com suas necessidades e interesses [Trowbridge e McDermott, 1980; McDermott, 2014].

O Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, por sua vez, não se encontra totalmente alheio a este panorama; os alunos ingressantes apresentam grandes dificuldades com o conteúdo que lhes é apresentado.

Este quadro foi lentamente sendo agravado em função das mudanças ocorridas na educação básica do país. A partir da Constituição de 1988, foi estabelecida pelo Congresso Nacional a Lei de Diretrizes e Bases da Educação, em 1996, que tornou um direito a educação até os 17 anos. Houve uma grande expansão do ensino, tanto fundamental quanto médio, e uma desvalorização do papel social do professor (incluindo a remuneração), acarretando uma queda de qualidade da educação básica. As orientações curriculares para o ensino médio foram modificadas diversas vezes, e o que constitui um currículo e uma estrutura para o ensino médio ainda são objetos de intenso debate na sociedade (com a tramitação atual no Congresso Nacional da Base Nacional Curricular Comum para o Ensino Médio). As consequências para os ingressantes na universidade são visíveis, pois a capacidade de resolver problemas e o desenvolvimento de raciocínio lógico são considerados muito enfraquecidos, segundo relatos esparsos feitos pelos professores atualmente.

No ensino superior, ocorreram mudanças a partir de 2005 [Sesu/MEC, 2014], com a criação do Programa Prouni (Programa Universidade para Todos, que concede bolsas em instituições de ensino superior privadas). Em seguida, o Reuni – Programa de Expansão e Reestruturação das Universidades, em 2007, que ampliou, na UFRJ, em 50% o número de vagas no período 2007-2011, e deu origem a mudanças metodológicas e de orientação do Enem – Exame Nacional do Ensino Médio e à criação do SiSU – Sistema de Seleção Unificado. Tornou-se necessário prover um mecanismo de seleção para ingresso nas universidades recém-criadas e recém-ampliadas. As políticas de ação afirmativa desenvolvidas a partir de 2011 reforçam as necessidades de enfrentamento de um quadro potencialmente difícil. Torna-se necessário dedicar maior atenção aos alunos ingressantes.

O acesso aos cursos de graduação da UFRJ se deu exclusivamente via processo seletivo próprio até o ano de 2010. A partir do ano de 2011, parte das vagas destes cursos foi destinada aos candidatos selecionados pelo Enem, através do SiSU,

implementado pela Resolução nº 16/2010 do Conselho Universitário da UFRJ [Consuni, 2010a].

A adoção desta medida, que visava a diversificação do acesso aos cursos de graduação levou, por sua vez, à implementação de políticas de apoio com a finalidade de garantir a permanência dos alunos de graduação. Dentre estas políticas destaca-se a criação de um apoio pedagógico aos estudantes [Consuni, 2010b]:

*“[...] O Conselho Universitário, reunido em sessão ordinária em 09 de setembro de 2010, tendo em vista a necessidade de implementação da Resolução Nº 16/2010, de 19 de agosto de 2010, resolve:*

*Art. 1º Encaminhar ao Conselho de Ensino de Graduação (CEG), para detalhamento e implementação, a referida Resolução, solicitando adicionalmente a esse Conselho: [...]*

*II – A elaboração de proposta detalhada para as políticas de apoio assistencial aos estudantes que ingressarem na Universidade, tanto em relação à cidadania universitária quanto à garantia de desempenho acadêmico; tais medidas devem instituir, entre outras ações, bolsas de acesso e permanência, meios de transporte gratuito, acesso à rede e disponibilidade de equipamentos de informática, consolidação e ampliação das Comissões de Orientação e Acompanhamento Acadêmico – COAA's, oferta de disciplinas suplementares, de apoio e introdutórias, envolvimento de docentes e estudantes. [...]” [Consuni, 2010b]*

Ainda em 2010, o Conselho de Ensino de Graduação instituiu um “Programa de Apoio Pedagógico”, com foco em disciplinas de matemática, física e bioquímica. Esse programa foi elaborado a partir de propostas encaminhadas por unidades, e foi implantado, com bolsas de monitoria para estudantes, já em 2011. Neste mesmo ano, o ingresso na UFRJ previa ação afirmativa, com uma fração de vagas reservada para estudantes oriundos do ensino médio realizado em escolas públicas estaduais – o que foi em seguida modificado pela Justiça, incluindo todas as escolas públicas.

A partir do primeiro semestre do ano de 2012, a UFRJ passou a adotar os resultados do Enem como forma exclusiva de acesso aos cursos de graduação, por meio do SiSU. Em 2012, a Lei nº 12.711 de 29 de agosto de 2012 [Brasil, 2012] instituiu diversas formas de ação afirmativa, estabelecendo quantitativo de vagas destinado a alunos que cursaram integralmente o ensino médio em escolas da rede pública de ensino, além daquelas destinadas a alunos autodeclarados pretos, pardos e indígenas para as universidades públicas federais. Esta lei visava garantir acesso principalmente àqueles indivíduos considerados em situação de vulnerabilidade social, afetando

diretamente a forma de acesso à UFRJ, em particular para os cursos com alta demanda social. A sanção desta lei, por outro lado, agravou em muito o quadro geral de baixo desempenho apresentado pelos alunos ingressantes, uma vez que a reserva de vagas se destinava majoritariamente a estudantes que cursaram a educação básica em escolas da rede pública estadual, claramente mais deficiente do que as demais escolas, como revelado pelos resultados do Enem e pelos indicadores do IDEB (Índice de Desenvolvimento da Educação Básica), do INEP.

### **2.3. Implementação de projeto de apoio pedagógico**

O projeto de apoio pedagógico foi implementado em toda a UFRJ, tendo sido dividido por áreas. A unidade responsável pela implementação do projeto em cada área deveria estabelecer os critérios para inscrição, acompanhamento de atividades e avaliação.

Os projetos-piloto nas áreas de Bioquímica para o Centro de Ciências da Saúde (CCS), Matemática e Física para o Centro de Tecnologia (CT) e o Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza (CCMN) já se encontravam estruturados e, portanto, tiveram suas atividades iniciadas no primeiro semestre de 2011. Havia ainda a previsão da estruturação de projetos-piloto para outras áreas, envolvendo as coordenações e decania do Centro de Letras e Artes (CLA), do Centro de Filosofia e Ciências Humanas (CFCH) e do Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas (CCJE).

Neste trabalho, será dada ênfase ao apoio pedagógico em Física oferecido aos alunos dos cursos de Bacharelado em Física, Física Médica e Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra (BCMT).

As atividades do apoio pedagógico em Física iniciaram-se no primeiro semestre de 2011 e propunham-se a desenvolver atividades de apoio acadêmico em física básica aos alunos ingressantes. A inscrição neste curso era facultativa, sendo indicada aos estudantes pelas coordenações a partir de critérios por elas estabelecidos, sem discriminação entre alunos em virtude de sua forma de ingresso – ampla concorrência ou ação afirmativa, ambos pelo SiSU, ou por meio de vestibular próprio da UFRJ. Estas atividades foram preparadas com base em atividades que já haviam sido desenvolvidas, no IF-UFRJ, de apoio aos alunos ingressantes no curso de Física e que

eram pouco preparados para o curso universitário, inicialmente em conjunto com a equipe de Física I, como relatado por Barroso e Falcão [Barroso e Falcão, 2004]. Em 2006, havia sido criada uma disciplina com duas vertentes: apoio pedagógico para alunos pouco preparados, e aceleração para os alunos melhor preparados, como uma disciplina (Tópicos de Física Geral) oferecida no primeiro período.

Nesta ampliação da proposta de apoio pedagógico, em 2011, a sugestão inicial às coordenações dos diversos cursos do CT e CCMN foi indicar a inscrição no apoio aos alunos inscritos em Física I e que atendessem ao menos um dos seguintes requisitos:

- Ter obtido nota normalizada inferior a 675 pontos na prova de Matemática no ENEM ;
- Ter obtido nota inferior a 3,0 pontos na prova de Matemática no vestibular da UFRJ;
- Ter obtido nota inferior a 3,0 pontos na prova de Física no vestibular da UFRJ.

O formato proposto para este projeto-piloto era uma atividade similar a uma disciplina extracurricular para os estudantes dos cursos do CT e CCMN, com metodologia semipresencial e previsão de quatro horas semanais de trabalho pelos estudantes, sendo no máximo duas horas de aulas presenciais.

O material didático era formado por textos, exercícios, questionários e testes de auto-avaliação disponibilizados na plataforma de ensino à distância do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento em Ensino de Matemática e Ciências (LIMC) e preparados por um professor do Instituto de Física, responsável pelo projeto.

Alunos de graduação atuavam como monitores e alunos de pós-graduação atuavam como tutores, podendo o estudante optar por comparecer em um dos horários destinados à tutoria presencial. O estudante contava também com a possibilidade de atendimento à distância, através de perguntas e respostas trocadas por meio de mensagens eletrônicas tradicionais ou através de fóruns na plataforma de ensino.

A avaliação de desempenho do aluno era feita através da verificação da participação – presença nos horários de atendimento presencial, entrega de questionários e exercícios e através de discussões à distância com colegas e com tutores.

No segundo semestre de 2011 houve a implementação de algumas mudanças no projeto inicial por parte do professor responsável à época. As aulas tornaram-se totalmente presenciais e foram disponibilizadas duas horas de tutoria para a disciplina de física e duas horas para a disciplina de informática, totalizando as quatro horas iniciais.

As aulas de física tinham como principal objetivo discutir com os alunos sobre como abordar e resolver exercícios e problemas de física básica. Após a resolução dos exercícios pelos estudantes, os monitores os recolhiam e os professores os analisavam, com devolução aos estudantes. Cabia aos alunos efetuar a correção dos exercícios utilizando os gabaritos disponibilizados no sítio eletrônico criado exclusivamente para o apoio pedagógico em física.

O critério de avaliação levava em consideração a média aritmética das notas obtidas nas listas de exercícios de física, nas tarefas executadas no laboratório de informática e também a presença nas aulas.

Aos poucos, o projeto foi modificando-se, sempre por iniciativa do professor responsável, até assumir as características atuais. Atualmente a participação nas aulas do apoio pedagógico em física é obrigatória a todos os alunos ingressantes de alguns cursos das áreas de ciências naturais e tecnologia e que estejam inscritos na disciplina Física I. Há turmas disponíveis no Centro de Tecnologia e no Centro de Ciências Matemáticas e da Terra, e nelas são distribuídos os alunos de acordo com o local onde as suas demais aulas são ministradas.

A carga horária dos encontros varia de acordo com o curso escolhido pelo estudante de modo que, semanalmente, a todos os cursos sejam disponibilizadas oito horas somando-se aquelas voltadas à disciplina de Física I e aquelas dedicadas ao apoio pedagógico.

O material didático é formado por listas de exercícios escolhidos pelo professor coordenador do projeto. Tais exercícios são resolvidos pelos estudantes em sala com o auxílio dos alunos monitores e eventual intervenção do professor presente na aula. Procura-se dar certa liberdade aos alunos para que façam suas tarefas individualmente ou em grupos, fazendo com que se sintam confortáveis em participar da aula. É pedido,

entretanto, que eventuais grupos não contenham mais de seis alunos e que evitem conversas desnecessárias durante as atividades.

O método de avaliação na disciplina leva em consideração não só o desempenho ao resolver os exercícios, mas também o empenho dos alunos ao fazê-lo. Listas feitas com desleixo e sem o devido raciocínio explicitado são avaliadas negativamente. Não obstante, os alunos são constantemente incentivados a expor o raciocínio empregado, organizar suas ideias de forma clara e coesa e expressar suas conclusões utilizando suas próprias palavras para interpretar dados obtidos através de equações.

Além da avaliação subjetiva das listas entregues, algumas turmas de apoio pedagógico contam ainda com pequenos testes semanais – uma ou duas questões – visando complementar sua nota final para a disciplina. Ao contrário dos exercícios tradicionais onde os alunos podem se organizar em grupos, estes testes são feitos individualmente.

#### **2.4. A estrutura atual do projeto de apoio pedagógico**

As aulas de apoio pedagógico em física foram desenvolvidas com o intuito de proporcionar aos alunos maior contato com os conteúdos trabalhados em sala de aula. Esperava-se, portanto, que o rendimento dos alunos nas provas fosse superior quando comparado com o histórico de baixo índice de aprovação que se repetia nos últimos anos. No entanto, não são observadas melhoras significativas no desempenho imediato dos alunos.

Especula-se que o apoio pedagógico tenha surtido pouco efeito até o momento devido à estrutura atualmente adotada. Conforme mencionado, o material didático utilizado em sala é formado por listas de exercícios escolhidos pelo professor coordenador do projeto. No entanto, estes exercícios em muito se assemelham àqueles encontrados ao final dos capítulos de livros didáticos – são em sua maioria exercícios quantitativos que exigem dos alunos aplicação de uma ou mais equações matemáticas, levando os alunos a priorizar a memorização em detrimento do entendimento dos conceitos fundamentais em física. É comum que os alunos, ao resolverem estes exercícios, se perguntem “que fórmulas utilizar?” ou “que tipo de exercício é este?” ao invés de pensarem “que conceitos são importantes nesta situação?”.

Este comportamento resulta da forma com a qual o ensino da disciplina costuma ser desenvolvido. A maioria dos professores das disciplinas de física é dedicada à sua área de pesquisa e em geral tem satisfação em dividir seu conhecimento e entusiasmo com os alunos. No entanto, recaem em um mecanismo conhecido na literatura de pesquisa em ensino de física, por desconhecimento dos resultados provenientes destas pesquisas. Segundo relato de McDermott [McDermott, 1991], os professores gostariam de facilitar a vida dos estudantes, e para isso, para evitar que os estudantes tenham de enfrentar as mesmas dificuldades com os conteúdos e conceitos com as quais eles se depararam ao estudar e aprender física, tendem a adotar práticas de ensino que priorizam o raciocínio dedutivo, apresentando as discussões de forma que os casos gerais, as generalizações, vêm antes dos casos particulares, das discussões e construção lenta dos conceitos. Quase sempre, após a apresentação de alguns princípios gerais e como estes podem ser aplicados em casos específicos, espera-se que os alunos adquiram não só o conhecimento específico em si, mas também a capacidade de aplicá-lo em situações completamente novas. No entanto, esta abordagem (e suas variações) não leva em consideração que muitos alunos não estão preparados para aprender tudo o que se espera que aprendam, tudo o que está sendo ensinado.

Sendo assim, seria relevante delimitar os objetivos específicos da instrução em física [McDermott, 1991]: “Quanto deve ser enfatizada a aquisição de conhecimento específico em contraste com a capacidade de raciocínio científico?”, “Espera-se que os alunos desenvolvam proficiência suficiente em raciocínio qualitativo para aplicá-lo à análise de situações físicas em termos dos conceitos estudados?” e “Que impressão sobre a física espera-se transmitir aos alunos – uma coleção de fatos estabelecidos ou um processo dinâmico de descoberta do mundo natural?” são algumas questões que devem guiar o desenvolvimento de currículo e a prática docente.

McDermott [McDermott, 1991] afirma que, apesar da existência de alguns objetivos específicos considerados desejáveis ao final do ciclo de um curso de física básica, os objetivos intelectuais importantes são geralmente ignorados quando a instrução é guiada através da resolução de problemas tradicionais (quantitativos), fazendo com que os alunos memorizem algoritmos de solução de problemas ao invés de compreenderem de fato o conteúdo da disciplina.

Em outro trabalho, McDermott [McDermott, 1993] destaca ainda uma série de conclusões, fruto das pesquisas em ensino de física desenvolvidas pelo Grupo de Pesquisa em Ensino de Física na Universidade de Washington (EUA):

1. Facilidade em resolver problemas quantitativos não é um critério adequado para indicar compreensão de determinado conceito; a resolução de problemas quantitativos em geral depende de equações matemáticas que são memorizadas pelos estudantes, não promovendo a aplicação de raciocínio próprio e de conceitos de física em situações não estudadas previamente. Em outras palavras, a apresentação de questões que requeiram raciocínio qualitativo e explicações verbais são essenciais.
2. Uma estrutura conceitual adequada não é o resultado típico da instrução tradicional – os alunos precisam participar ativamente no processo de construção de modelos qualitativos que os ajudem a entender relações e diferenças entre conceitos relacionados, ajudando-os a aplicá-los em vários contextos físicos diferentes. Em contraste, para resolver exercícios meramente quantitativos, manipulações matemáticas em geral são suficientes.
3. O ensino por meio de aulas expositivas é uma forma ineficaz de instrução – os alunos devem se engajar intelectualmente para desenvolverem uma compreensão funcional. Não importa o quão capaz seja o professor ou o quão lúcida seja a aula, a aprendizagem de fato não acontecerá a menos que haja participação ativa por parte dos alunos. Aqueles que por ocasião obtém sucesso em aprender por meio da instrução tradicional, o fazem porque constantemente questionam sua própria compreensão, confrontam suas dificuldades e persistem até saná-las – habilidade conhecida como “metacognição”. A maioria dos alunos em cursos introdutórios de física não apresentam este grau de independência intelectual.

Estas observações são antigas. Apesar disso, o grande esforço dedicado à implementação e manutenção das aulas de apoio pedagógico em física revela que esta intervenção vem apresentando resultados ainda discretos. Pode-se exemplificar esta afirmação com alguns dados do ano de 2015. A Tabela 2.1 mostra a média de acertos nas questões objetivas da primeira prova do curso (P1) nos dois semestres letivos do

ano de 2015<sup>1</sup>. Esta prova é feita após o primeiro bimestre de aulas e compreende as unidades de Vetores, Cinemática, Dinâmica e Trabalho e Energia. No primeiro semestre de 2015, somente os alunos do curso de Bacharelado em Física tiveram suas notas monitoradas. A partir do segundo semestre de 2015, todos os alunos dos diversos cursos em que se encontravam matriculados nesta disciplina tiveram seus desempenhos monitorados.

**Tabela 2.1.** O desempenho no ano de 2015: a primeira prova

Semestre (2015)	Número de alunos	Número de itens	Média de acertos	Desvio padrão
1	26	8	3,27	2,09
2	783	8	4,37	1,86

Observa-se que a primeira prova de física ao longo dos semestres letivos descritos se manteve com igual número de itens (questões) e apesar da grande diferença de dados avaliados em cada semestre (26 alunos em 2015.1 e 783 alunos em 2015.2), é razoável pensar que os desempenhos são equivalentes.

Quando analisadas as médias de acertos de cada semestre – em torno de 50% das questões, especula-se que o quadro apresentado esteja seguindo os moldes daquele presente entre os anos de 1993 e 1996, quando em média apenas 45% dos alunos obtiveram aprovação na disciplina Física I.

Estes dados indicam a necessidade de uma intervenção direta no processo de ensino-aprendizagem, com objetivo primário de melhoria do desempenho dos estudantes. Optou-se, portanto, em adotar nova metodologia no desenvolvimento de exercícios para os alunos do curso de Bacharelado em Física, utilizados durante as aulas de apoio pedagógico, acompanhados de testes específicos para avaliar sua eficácia, conforme será descrito nos capítulos posteriores.

---

<sup>1</sup> M.F.Barroso – Comunicação privada.

## Capítulo 3

### Aprendizagem: conceitos, objetivo e avaliação

Nesta seção serão descritos os conceitos-chave que permitirão o posterior desenvolvimento das ferramentas utilizadas no trabalho. Ênfase será dada ao conceito de *aprendizagem*, em especial na disciplina de física, bem como métodos que serão empregados na sua medição e avaliação. Além disso, serão apresentadas algumas consequências das pesquisas realizadas nesta área, como o conceito de *concepções prévias*, e uma estratégia de intervenção no ensino visando a superação destas, por meio de exercícios em formato de tutorial.

#### 3.1. Cognição

Segundo Haladyna [Haladyna, 2004], cognição é definida como o ato ou processo de saber algo. É um evento individual, privado e inerente a cada ser humano, constituindo assim objeto de difícil avaliação. Apresenta-se agora um resumo das ideias desenvolvidas por Haladyna.

O domínio cognitivo sobre determinado conteúdo subdivide-se em **conhecimento, competência e habilidade**.

O grau de domínio sobre determinado assunto é comumente aferido por meio de instrumentos conhecidos como *testes* que, por sua vez, subdividem-se em unidades chamadas *itens*. O escore (resultado) dos testes é normalmente medido em escala numérica e indica, por meio de um algoritmo específico pré-estabelecido, a performance ao longo dos itens, indicando o grau de aprendizagem no assunto sob condições uniformes e padronizadas. Além de contextos educacionais, testes são atualmente utilizados para diversas finalidades, como método de seleção, comprovação de proficiência, dentre outras.

##### 3.1.1. Conhecimento

Para fins de desenvolvimento de testes e avaliação da aprendizagem, uma das formas mais eficientes para se definir conhecimento é como sendo o conjunto de verdades acumuladas ao longo da vida de um indivíduo. Pode-se testar seu conhecimento sobre determinado assunto pedindo-lhe que responda questões específicas ou que discorra de forma escrita ou oral [Haladyna, 2004].

O conhecimento pode ser concebido em duas dimensões – *conteúdo* e *processo cognitivo* – que devem ser levados em consideração ao se elaborar testes de aprendizagem. A dimensão do *conteúdo* representa “o que” será avaliado, sendo subdividida em quatro categorias: fatos, conceitos, princípios e procedimentos.

Um *fato* é tomado como verdade dentro de um contexto social e surge por meio de experiências cotidianas ou por argumentos de autoridade. Sua avaliação é consideravelmente fácil, uma vez que o aluno ou sabe ou não sabe. Alguns exemplos de fatos são [Haladyna 2004]:

- “A” é uma vogal do alfabeto.
- 5 é um número primo.
- A soma dos ângulos internos de um triângulo é igual a  $180^\circ$ .

Um *conceito* diz respeito a uma classe de objetos ou eventos que possuem mesmas características, propriedades ou finalidades [Haladyna, 2004]. Por exemplo, o conceito de “cadeira” tem como característica a presença de um assento plano horizontal, encosto e quatro pernas e serve para que pessoas possam se sentar. Embora uma mesa em muito se assemelhe com estas características, sua função primária não é servir de assento, apesar de algumas pessoas compartilharem do hábito de se sentar sobre mesas. Da mesma forma, um banco tem finalidade de servir como assento, possui quatro pernas e uma parte plana horizontal, porém não possui encosto. Esta característica é suficiente para não lhe conferir o conceito de “cadeira”, apesar de ambos possuírem finalidades semelhantes.

Um *princípio* expressa uma relação entre dois ou mais conceitos, podendo ser leis imutáveis ou eventos prováveis. Em ciências, muitos princípios imutáveis são conhecidos como Leis. O fato de o ar quente subir e o ar frio descer, o fluxo de calor se dar de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura e atração entre corpos com cargas opostas são alguns exemplos de princípios.

Em alguns casos, princípios podem ser probabilísticos ou dependentes de opiniões subjetivas: o risco de lesão fatal é maior para pessoas que viajam em automóveis sem utilizar cintos de segurança do que para aquelas que os usam; jogadores de vôlei mais altos têm maior probabilidade de sucesso em um bloqueio do que

jogadores mais baixos. Embora tais afirmativas não correspondam à realidade em todos os eventos, pode-se estimar suas probabilidades com base em modelos estatísticos [Haladyna, 2004].

Um *procedimento* compreende uma série de ações relacionadas para se alcançar um objetivo específico, podendo ser mentais ou físicas. Exemplos de procedimentos mentais são encontrar a raiz quadrada de determinado número e adicionar números com duas casas decimais. Procedimentos físicos podem ser exemplificados por ações como apontar um lápis ou cortar papel utilizando uma tesoura.

Ressalta-se, entretanto, que conhecer determinado procedimento não implica em saber executá-lo. Sendo assim, a avaliação do conhecimento de um procedimento deve se dar por meio de perguntas diretas [Haladyna, 2004], da forma: “Como se adicionam números com duas casas decimais?”; “Como se encontra a raiz quadrada de determinado número?”; “Como se aponta um lápis?”, etc.

O processo cognitivo representa a “forma” através da qual determinado conhecimento será avaliado, distinguindo-se o *relembrar* e o *entender*. Relembrar um conhecimento significa que o mesmo será reproduzido exatamente da forma como apresentado em sala ou através do estudo. Este processo está relacionado exclusivamente com a memorização do conhecimento, sem maior entendimento de suas causas ou consequências.

O entender do conhecimento é um processo mais complexo, uma vez que requer que o mesmo seja aplicado a situações não tratadas anteriormente. Por muito tempo o processo de relembrar foi considerado como indicativo de aprendizagem às expensas do entendimento. No entanto, deve ser dada maior ênfase ao processo de entender, tendo em vista a necessidade de compreensão de conceitos básicos para a formação de indivíduos capacitados para enfrentar e solucionar problemas inéditos.

A Tabela 3.1 resume as oito formas de organização do conhecimento, no tocante ao conteúdo e processo cognitivo envolvidos [Haladyna, 2004].

**Tabela 3.1.** Categorias de organização do conhecimento [Haladyna, 2004].

Processo cognitivo	Conteúdo			
Relembrar	Fatos	Conceitos	Princípios	Procedimentos
Entender	Fatos	Conceitos	Princípios	Procedimentos

### 3.1.2. Competência e habilidade

Outro tipo de aprendizagem envolve o desempenho em atividades físicas ou mentais, conhecida como *competência* [Haladyna, 2004]. Conforme mencionado na seção anterior, há uma diferença entre conhecer determinado procedimento e saber executá-lo de fato, mas não há dúvida de que o conhecimento é requisito imprescindível para a correta execução.

A avaliação da competência é feita através da observação direta do desempenho, e seu score pode depender de seu grau de abstração: competências discretas podem ser avaliadas de forma dicotômica – sim ou não, certo ou errado, 1 ou 0, etc. – enquanto que aquelas mais abstratas podem ter seu score baseado em uma escala contínua após a avaliação e julgamento por especialistas. Na área de ciências matemáticas, um exemplo de competência que pode ser avaliada de maneira discreta é a soma de números com casas decimais: ao final da execução do procedimento, o aluno o terá realizado de forma certa ou errada. Em contrapartida, a diferenciação entre fatos e opiniões em textos e elaboração de resumos que mantenham suas características principais são competências consideradas abstratas e a sua avaliação e atribuição de score devem ser feitas por especialistas da área.

As *habilidades* também podem ser aprendidas, mas o processo é longo e complicado, podendo se estender por toda a vida de um indivíduo. Também chamadas de habilidades *fluidas*, *desenvolvidas* ou *aprendidas*, requerem o emprego de conhecimentos e competências em uma forma complexa e representam as habilidades fortemente valorizadas socialmente, como ler, escrever, resolver problemas, pensar criticamente e desenvolver atividades criativas.

Embora tais habilidades não sejam diretamente observáveis por meio de testes, alguns de seus aspectos o são e podem indicar o seu emprego na resolução de problemas. Ao se elaborar um texto, faz-se necessário atentar à gramática, pontuação e ortografia. Por outro lado, nenhuma destas competências implica o sucesso na habilidade da escrita. Somente a avaliação subjetiva por especialistas poderá julgar esta habilidade.

### 3.2. Aprendizagem em Física

Há atualmente várias formas de se caracterizar o conceito de *aprendizagem*. Haladyna [Haladyna, 2004] define aprendizagem como sendo um conjunto de modificações planejadas no comportamento cognitivo, que resultam de instrução ou treinamento, apesar de ser possível a existência de aprendizagem devido a fatores externos à instrução ou ao treinamento. Assim sendo, o objetivo de qualquer instrução ou treinamento é promover a aprendizagem de determinado conteúdo. Neste trabalho estamos particularmente interessados em aprendizagem na disciplina de física. Desta forma, o principal objeto de estudo neste trabalho são as modificações causadas na estrutura cognitiva no âmbito da física, por meio de estratégias específicas.

Em uma abordagem mais geral, pode-se ainda compreender a aprendizagem em física como um conjunto de estratégias voltadas à aquisição do chamado *letramento científico* por parte do aluno. Diz-se que um indivíduo alcança o letramento científico quando, dentre outras habilidades, é capaz de [Arons, 1997]:

- Reconhecer que conceitos científicos (velocidade, aceleração, força, etc.) são construções da imaginação e inteligência humana, não se constituindo em objetos tangíveis descobertos ao acaso;
- Reconhecer a importância em se atribuir uma definição operacional a tais conceitos para que possam ser corretamente entendidos e utilizados; isto é, compreender que o cerne de um conceito é a ideia que este comporta e não o nome a ele atribuído;
- Compreender e ser capaz de perceber a diferença entre observação e inferência em diversos contextos;
- Diferenciar o papel da descoberta acidental em investigações científicas da estratégia deliberada para formar e testar hipóteses;
- Compreender as limitações inerentes à pesquisa científica e estar ciente da infinidade de questões não respondidas que surgem ao passo que outras são solucionadas;
- Discriminar entre a aceitação de resultados, modelos ou conclusões não verificados e o processo de compreensão de suas bases ou origens; isto é,

distinguir quando perguntas do tipo “Como se sabe que...?”, “Por que se acredita que...?” ou “Qual a evidência de que...?” foram devidamente respondidas e compreendidas em contraste com informações aceitas com base na fé;

- Desenvolver suficiente conhecimento científico em determinada área (ou áreas) de interesse que lhe permita avançar em seu aprendizado sem a necessidade de instrução formal.

A lista acima não tem a intenção de esgotar todas as habilidades necessárias à aprendizagem em física, mas tão somente citar algumas que desempenham papel fundamental neste processo. Dentre estas habilidades, as duas primeiras listadas ocupam posição de destaque, principalmente nos períodos iniciais de um curso de nível superior. Nelas reside a oportunidade de percepção, por parte do aluno, da diferença entre conhecimento figurativo (ou declarativo) – que consiste em apenas conhecer “fatos” – do conhecimento operativo (ou procedimental) – que envolve a compreensão da origem de tais “fatos”.

Por outro lado, para desenvolverem a compreensão genuína de conceitos e teorias que possibilitam o conhecimento operativo, estudantes devem engajar-se ativamente em atividades dedutivas e indutivas, associadas à interpretação de observações e experiências pessoais [Arons, 1997]. Este não é o resultado obtido por meio de aulas meramente expositivas e resolução de exercícios que requerem somente aplicação de equações memorizadas.

O método de ensino considerado “tradicional” carece de tempo hábil para que os estudantes executem as atividades de pensamento e raciocínio necessárias ao entendimento, enquanto que o grande volume de conteúdo a eles apresentado favorece a memorização, fazendo com que enxerguem o “conhecimento” como justaposição de nomes e fatos. Isto se dá, em parte porque os conceitos são vistos como “muito difíceis” para serem minuciosamente analisados e sua avaliação é feita majoritariamente dando mais ênfase a resultados finais que ao raciocínio empregado [Arons, 1997].

Nos últimos anos os resultados empíricos sobre o desenvolvimento cognitivo dos alunos têm fornecido uma sólida base para o planejamento de aulas e produção de material didático, apontando para a necessidade de se dedicar mais atenção à estrutura cognitiva em si. Resultados importantes foram obtidos por Joe McKinnon e John

Renner [McKinnon e Renner, 1971]; foram utilizados testes desenvolvidos por Jean Piaget – atualmente conhecidos como testes Piagetianos – administrados a 131 alunos ingressantes da Universidade de Oklahoma (EUA). Neste estudo concluiu-se que somente 25% da população amostral completou corretamente o teste, indicando o desenvolvimento da capacidade de raciocínio lógico e abstrato. No entanto, 50% desta população estaria no estágio das operações concretas Piagetianas e 25% estaria em transição entre os estágios concreto e operacional-formal.

Apesar de se tratar de pesquisa realizada em universidade estrangeira e datar de mais de quatro décadas, estas conclusões resistem ao passar do tempo e às diferenças regionais; a experiência tem mostrado que estes dados se fazem presentes nos dias atuais e nos mais diversos cursos das universidades brasileiras. Desta forma, reverter este quadro torna-se um desafio adjacente ao desenvolvimento do desejado letramento científico.

Caso se deseje alcançar os objetivos da educação atual, torna-se essencial partir da premissa que os estudantes têm de fato capacidade intelectual passível de desenvolvimento e uso – que vai além da memorização desprovida de entendimento. Isto implica a promoção de oportunidades de pensar, raciocinar e se desenvolver intelectualmente com o auxílio de materiais didáticos adequados, respeitando o ritmo dos alunos assim como o devido grau de dificuldade, visando possibilitar a assimilação de novos conhecimentos [Arons, 1997].

### **3.3. Concepções prévias em Física e senso mecânico**

O fracasso do método de instrução tradicional em várias áreas do conhecimento tem sido documentado ao longo das últimas décadas. Particularmente nas disciplinas básicas de física, nota-se que ao final de um curso introdutório pouca modificação é causada na estrutura cognitiva dos alunos.

Entrevistas conduzidas na década de 1970 revelaram que o entendimento dos alunos sobre os mais básicos conceitos físicos em muito distinguiam-se daqueles aceitos pela comunidade científica [McDermott, 1984]. Os estudantes aparentam possuir duas formas distintas de enxergar os fenômenos naturais: aquela aceita cientificamente e empregada somente quando é necessário resolver problemas de física, e outra cuja

origem reside na observação de fenômenos cotidianos, chamada de *concepção alternativa* ou *concepção prévia*.

Um dos trabalhos pioneiros no mapeamento das concepções prévias em física foi conduzido por Laurence Viennot [Viennot, 1979]. Viennot pesquisou a respeito do raciocínio espontâneo dos alunos em dinâmica elementar, e concluiu que estes possuem, concomitantemente, visões Newtonianas e não-Newtonianas sobre o conceito de força. Além disso, as circunstâncias têm papel fundamental na determinação de qual visão será aplicada: se o movimento do corpo não for diretamente acessível, seja por observação ou por diagrama, então o conceito Newtoniano de força é corretamente aplicado. Caso o movimento seja relativamente óbvio, a situação em si determinará qual visão será empregada: se a força verdadeira for compatível com o movimento – força e velocidade com mesma direção ou ambos nulos – o conceito Newtoniano de força será corretamente utilizado; caso os alunos acreditem haver conflito entre força e velocidade – direções contrárias ou uma das duas grandezas for nula – os alunos tentarão justificar o movimento com o emprego de uma força não-Newtoniana, sendo esta normalmente proporcional à velocidade (e não à aceleração) e não sendo bem localizada no espaço.

O conceito de *concepção prévia* foi criticado por Andrea diSessa [diSessa, 1993]. Para diSessa, embora a física intuitiva exista de fato, há questões fundamentais sobre a forma como deve ser interpretada.

*[...]Uma das melhores interpretações atualmente aceitas sobre a física intuitiva afirma que esta representa uma visão coerente e teórica sobre o mundo.[...]Às implicações educacionais da visão da física intuitiva como formulação teórica inclui-se a hipótese de que as concepções prévias podem e devem ser enfrentadas, superadas e substituídas por conceitos físicos válidos. Para isto, torna-se necessário que estas concepções prévias sejam isoláveis, poucas em quantidade, falsas (ou improdutivas) e passíveis de “ataque” mediante argumentos e dados. [...] Por outro lado, proponho que a física intuitiva seja a expressão de um senso mecânico subjacente, que ocasionalmente exhibe resultados relativamente uniformes, mas no geral carece da sistematização característica da ciência teórica. Sendo assim, tal senso mecânico não precisa ser substituído, mas desenvolvido e refinado. (pg. 109, versão livre)*

Este senso mecânico é definido pelo autor como o conhecimento que proporciona ao indivíduo a capacidade de (1) julgar a possibilidade de ocorrência de determinados eventos baseando-se em generalizações de evento possíveis e impossíveis; (2) fazer previsões e “pós-visões”, ou seja, prever desdobramentos baseando-se em condições atuais e, observando resultados obtidos, explicar as causas de eventos; (3) propor descrições e explicações causais; isto é, atribuir crédito ou culpa a certos aspectos de eventos observados ou a fatos mais gerais.

Ao interagir com o mundo físico que a todos circunda, cada indivíduo elabora gradualmente um senso mecânico próprio – um sentido de como os eventos naturais se desencadeiam; quais tipos de eventos são prováveis, possíveis e impossíveis. Embora cada ser humano seja responsável pelo desenvolvimento de seu próprio senso mecânico, todos obtêm resultados semelhantes para as mesmas situações físicas. Quando se lança uma pedra ao alto em trajetória vertical, é consenso que aplicar mais força no momento do lançamento resultará em maior altura atingida pela pedra. Para que pessoas situadas a maior distância efetivamente escutem o que se deseja lhes comunicar, torna-se necessário empregar mais esforço, aumentando o volume da voz. Por conseguinte, uma das características aceitas deste senso mecânico é a relação causal e diretamente proporcional entre esforço empregado e resultado obtido.

DiSessa defende ainda que o senso mecânico desenvolvido por indivíduos desprovidos de instrução formal em física em nada se assemelha àquele desenvolvido por cientistas – em lugar de possuir profundidade e sistematização de ideias, o primeiro é menos integrado. Para especialistas, os fenômenos devem ser uniformemente redutíveis a conceitos fundamentais por meio de uma análise de circunstâncias. A título de exemplo, pode-se citar o caso em que duas bolas de bilhar se chocam. A colisão (fenômeno) é facilmente observada por qualquer indivíduo. Em contrapartida, as circunstâncias do evento específico – força de interação entre as bolas é interna ao sistema e não altera o momento linear de seu centro de massa; a colisão é considerada perfeitamente elástica – garantem a aplicação de princípios básicos, como a conservação de energia e momento linear. Portanto, a conservação do momento linear e da energia são conceitos mais fundamentais, que podem ser futuramente aplicados a situações físicas semelhantes.

Assim sendo, o papel da instrução em física pode ser interpretado como a construção de um gradiente entre observação superficial de eventos e aplicação de ideias fundamentais, por meio de uma reorganização e priorização da fenomenologia existente, conforme ilustrado na figura a seguir.



**Figura 3.1.** O papel da instrução em física.

### 3.4. Utilização de atividades em formato de tutorial

Muitas estratégias de ensino têm sido desenvolvidas e empregadas nas últimas décadas com a finalidade de melhorar o processo de ensino-aprendizagem em física. Algumas delas empregam novas tecnologias neste processo, como o uso de computadores para traçar gráficos e tabelas, vídeos instrucionais e, mais recentemente, *smartphones* têm tido papel fundamental com suas aplicações conhecidas como *acelerômetros*, que permitem a medição da aceleração à qual o aparelho é submetido.

Em contrapartida, o desenvolvimento de qualquer estratégia de ensino deve levar em consideração o grau de engajamento por parte do aluno; estratégias onde o aluno atua como mero expectador são tão ineficazes quanto a instrução considerada tradicional. A menos que atuem ativamente no processo, os estudantes não desenvolverão o devido entendimento sobre o conteúdo lecionado.

Desde o início da década de 1990, professores e pesquisadores em ensino de física têm se empenhado para desenvolver atividades em formato de *tutoriais*. Dentre as obras produzidas até os dias atuais, destaca-se o *Tutorials in Introductory Physics*, desenvolvido pelo Grupo de Ensino de Física (PEG) da Universidade de Washington, EUA [McDermott et al., 2002a; McDermott et al., 2002b].

Os tutoriais atuam como “emendas” aplicadas ao currículo tradicional e têm tido, segundo relatos de pesquisa em ensino, forte impacto positivo na aprendizagem

nos cursos introdutórios de física. Seu principal objetivo é atuar diretamente nas dificuldades dos alunos em física básica. Para isso, é necessário que se tenha prévio conhecimento das dificuldades enfrentadas pelos alunos (ou concepções prévias) para que se possa desenvolver exercícios específicos, voltados para sua elucidação. Mais especificamente, os tutoriais desempenham papel fundamental no auxílio do emprego das definições operacionais dos conceitos físicos em situações consideradas problemáticas [Shaffer e McDermott, 2005].

A estratégia usualmente empregada na construção dos tutoriais é conhecida como *elicit*, *confront*, *resolve* (elicitar, confrontar, resolver). Após a identificação de dificuldades específicas com determinado construto, esta é primeiramente elicitada na atividade para que se tome ciência do conteúdo específico que será trabalhado (*elicit*). Logo após, o aluno é guiado em um raciocínio específico por meio de instruções, empregando definições operacionais já estudadas, para que confronte suas concepções prévias com os resultados obtidos a partir do emprego dos conceitos físicos (*confront*). Por fim, é levado a comparar ambas as visões, emitindo opiniões (*resolve*) e eventualmente estendendo os resultados a situações físicas mais gerais.

Quando não são conhecidas as concepções prévias específicas sobre determinado conteúdo, pode-se ainda utilizar os tutoriais como uma ferramenta voltada ao desenvolvimento e aplicação de conceitos e princípios físicos importantes por meio de atividades que guiem cuidadosamente o raciocínio para este fim. Portanto, tutoriais em muito diferem de exercícios considerados tradicionais, onde normalmente se solicita um resultado quantitativo através do emprego de equações matemáticas. A principal ênfase desta metodologia é a construção de conceitos, desenvolvimento da capacidade de raciocínio e relação do formalismo físico com o mundo real [McDermott, 2014].

Tendo em vista a discussão apresentada na seção anterior, o papel dos tutoriais neste trabalho é servir como instrumento para refinamento do senso mecânico dos alunos, por meio da seleção de fenômenos específicos e emprego de instruções e questionamentos, culminando eventualmente em generalizações dos resultados para situações universais. Sendo assim, espera-se que os alunos se habituem a empregar conceitos físicos à resolução de problemas diversos, abstendo-se de utilizar suas concepções prévias, as quais devem provar-se ineficientes e improdutivas.

Em termos mais específicos, os tutoriais atuam de duas formas distintas: auxiliam na construção de definições operacionais para os principais conceitos estudados em um curso de física básica e atuam diretamente nas mais pronunciadas dificuldades enfrentadas pelos alunos ao longo do curso. Para a primeira forma, os conceitos são desenvolvidos gradual e crescentemente: a atividade subsequente requer a aplicação do conceito abordado na anterior. Quanto à segunda, as dificuldades abordadas têm origem em trabalhos (que serão mencionados), bem como na observação feita em sala de aula e relato dos alunos.

### **3.5. Avaliação da Aprendizagem**

Com o passar dos anos, mais tempo e esforço têm sido dedicados à construção de instrumentos mais eficientes voltados à avaliação da aprendizagem nas mais diversas áreas de conhecimento. Possivelmente o mais conhecido destes instrumentos é o *teste*, definido como um instrumento destinado à descrição numérica do grau ou quantidade da aprendizagem sob condições uniformes e padronizadas [Haladyna, 2004]. Testes são compostos por unidades básicas de observação, conhecidas como *itens*, que contém normalmente uma sentença à qual o respondente do teste deve reagir. A estas respostas é possível se atribuir um escore – usualmente “1” para resposta correta e “0” para resposta incorreta (itens dicotômicos), ou o escore pode ser avaliado segundo um modelo de escala gradual (itens politômicos).

De forma geral, testes representam um poderoso método para coleta de dados por parte de professores e pesquisadores, sendo tais dados mais numéricos que verbais. Para esta finalidade, uma série de questões devem ser levadas em consideração no processo de elaboração do teste, dentre as quais destacam-se [Cohen et al, 2011]:

- O que será testado (e.g. aprendizagem, aptidão, atitude, personalidade, etc.)?
- Os escores serão fruto de pré-testes e pós-testes no método experimental?
- Há testes disponíveis comercialmente aos professores ou estes terão que desenvolver seus próprios testes?

Conforme discutido na seção anterior, o interesse principal está na aprendizagem na disciplina de física. Sendo assim, os testes serão a principal ferramenta para este fim.

Quanto ao uso de pré-testes e pós-testes, algumas diretrizes devem ser observadas visando a eficácia do método [Cohen et al, 2011]:

- Os pré-testes e pós-testes devem avaliar o mesmo conteúdo, embora suas questões devam ser diferentes; ou seja, devem ser formas equivalentes para o mesmo conteúdo.
- Deve-se atentar quanto ao desenvolvimento de ambos os testes, evitando que um seja mais fácil ou difícil que o outro.

Além disso, há atualmente a possibilidade de se optar pela utilização de testes disponíveis, que cobrem um vasto alcance de tópicos [Cohen et al, 2011]. Dentre as vantagens, pode-se citar que tais testes:

- São objetivos;
- Foram testados e refinados;
- Foram avaliados estatisticamente, indicando seus graus de validade e confiabilidade;
- São acompanhados de instruções para aplicação, etc.

Em contrapartida, testes disponíveis (comercialmente ou não) não foram confeccionados visando necessidades institucionais ou locais. Portanto, para se adotar tais testes, deve-se ter plena certeza de que seus objetivos e conteúdo adequam-se àqueles que são objeto de avaliação. Se este critério não for demonstrado, então os testes terão de ser desenvolvidos pelo próprio pesquisador. Nas seções seguintes serão descritas características importantes dos pré-testes e pós-testes.

### **3.5.1. Testes de múltipla-escolha (ME) e resposta livre (RL)**

Ao se desenvolver um teste, deve-se considerar ainda o formato a ser adotado. Atualmente se utiliza amplamente testes cujos formatos são *múltipla-escolha* (ME) e *resposta livre* (RL). Testes do tipo resposta livre são usualmente politômicos – dado um problema, o aluno deve desenvolver sua solução apresentando o raciocínio utilizado. Por outro lado, testes do tipo múltipla-escolha são normalmente dicotômicos – dado o

enunciado (*stem*), são apresentados a resposta e os distratores de forma aleatória e o aluno deve escolher a alternativa que julga ser a resposta ao item.

Testes do tipo múltipla-escolha apresentam algumas vantagens sobre aqueles de resposta livre: por serem dicotômicos, são avaliados objetivamente, reduzindo drasticamente o tempo gasto para sua correção; podem, portanto, ser administrados ao mesmo tempo a uma grande quantidade de alunos. Além disso, é comum o emprego de métodos estatísticos aos escores que, aliado à grande população amostral, garante a generalização dos resultados [Engelhardt, 2009].

Esta propriedade é extremamente importante, visto o crescente número de alunos que ingressam anualmente nas universidades brasileiras. Em particular na UFRJ, o número de alunos ingressantes no primeiro semestre letivo saltou de aproximadamente 6000 em 2007 para cerca de 9000 em 2011 [Custódio, 2012]. O crescimento da população universitária acarreta alguns problemas, como o aumento de alunos alocados por professor, principalmente nas disciplinas iniciais. Sendo assim, a utilização de métodos mais rápidos de avaliação torna-se primordial.

Dentre as desvantagens destaca-se a característica dos conhecimentos que testes do tipo múltipla-escolha conseguem avaliar. Alguns alunos possuem maior habilidade em identificar a resposta correta por meio da análise de inconsistências presentes nos distratores sem possuírem real entendimento do material apresentado. Entretanto, para a maioria dos propósitos aos quais se destinam, testes de múltipla-escolha constituem poderosas ferramentas, com maior destaque às suas vantagens que às desvantagens.

### **3.5.2. Utilização de testes conceituais de múltipla-escolha**

Ao longo das últimas décadas, muito esforço tem sido empregado no desenvolvimento e validação de testes conceituais. Dentre todos aqueles já desenvolvidos, talvez o mais influente tenha sido o *Force Concept Inventory* – FCI [Hestenes et al., 1992]. Este teste de múltipla-escolha tem como principal foco o raciocínio dos estudantes acerca do conceito Newtoniano de *força*.

Muitos professores acreditaram, a princípio, que o FCI seria demasiadamente fácil para seus alunos, dada a aparente simplicidade dos itens. Para sua surpresa, a experiência revelou um cenário incompatível com a expectativa: o desempenho

observado era muito inferior ao esperado. Este fenômeno reverberou fortemente em meio à comunidade de ensino de física, levando pesquisadores à criação de novos testes conceituais.

Para se entender a razão de tamanha influência atribuída ao FCI, precisa-se entender o motivo de sua criação. Hestenes et al. havia proposto que *“a efetiva instrução requer mais que dedicação do professor e conhecimento por parte do aluno, mas também conhecimento de como o aluno pensa e aprende”* [Engelhardt, 2009]. Assim sendo, o sucesso dos testes conceituais de múltipla-escolha depende fortemente do conhecimento das concepções prévias referentes ao conteúdo avaliado, devendo estas fazer parte dos distratores de cada item. Caso contrário, há grande probabilidade de os testes não refletirem o real entendimento dos alunos sobre o conteúdo.

Há dois principais objetivos para o uso de tais testes: (1) avaliar o conhecimento dos alunos antes e após determinada intervenção didática e (2) avaliar o ensino, suas metodologias e currículo. Portanto, testes conceituais de múltipla-escolha *não* devem ser utilizados como método de avaliação do desempenho ao longo do curso, mas somente como ferramenta de auxílio ao professor e alunos na detecção de concepções alternativas e áreas de conhecimento que precisam ser melhor desenvolvidas [Engelhardt, 2009].

No tocante às unidades elementares dos testes, cada item é desenvolvido visando a averiguação de um tipo de conteúdo (fato, conceito, princípio ou procedimento), assim como um processo cognitivo associado (relembrar ou entender) [Haladyna, 2004]. Há pouca controvérsia ao se definir o domínio do conteúdo a ser medido; uma rápida análise por especialistas é suficiente para alocar cada item em uma categoria desta taxonomia. Por outro lado, a medição do processo cognitivo envolvido tem se mostrado problemática, uma vez que ao responder a um item específico, não se sabe exatamente o processo cognitivo empregado pelo estudante. Em qualquer item do teste, pode-se pensar que este requer intrincado raciocínio para respondê-lo, enquanto o aluno está efetivamente empregando frases ou ideias memorizadas, que a ele foram apresentadas anteriormente.

Isto se dá pelo fato de um especialista empregar a memória na resolução de problemas, utilizando uma rede de conhecimento bem organizada. Em contrapartida,

principiantes necessitam empregar estratégias mais complexas, percorrendo um caminho cognitivo mais intrincado para chegar à mesma solução.

Embora possa haver consenso sobre o processo cognitivo elicitado por determinado item, há a possibilidade de se medir outro processo completamente diferente devido ao fato de um aluno possuir experiências prévias diferentes dos demais. Assim sendo, qualquer teste que venha a ser desenvolvido representará de forma aproximada aquilo que se induz ser o pensamento do aluno.

Neste capítulo, apresentamos as ideias-chave que levaram à elaboração das atividades para o apoio pedagógico em física. A seguir, vamos relatá-las.

## Capítulo 4

### Desenvolvimento do trabalho

Ao optarem por ingressar em um curso de nível superior na área das ciências exatas, os estudantes assumem, mesmo que implicitamente, possuir interesse pelas disciplinas relativas ao curso, uma vez que já tiveram contato com as mesmas durante o período do ensino médio. Espera-se, portanto, que estes dediquem boa parte de seu tempo ao estudo e conseqüentemente obtenham boas notas.

Por outro lado, a observação do desempenho dos alunos na disciplina de Física I nos diversos cursos onde esta cadeira é parte da grade curricular aponta uma realidade bastante diferente daquela relatada acima – altos índices de reprovação e abandono sempre se fizeram presentes ao longo dos anos [Almeida et al., 2001]. Partindo do pressuposto que os alunos têm interesse na área, este dado levaria naturalmente à hipótese de que os alunos não têm se dedicado suficiente ou adequadamente ao curso, ou que não se interessam tanto quanto afirmam.

Pode-se igualmente admitir que tal fracasso na disciplina se dê devido ao emprego de metodologias inadequadas de ensino, ou que estas não estejam alcançando seu objetivo principal – fazer com que os alunos adquiram uma visão conceitual e operacional adequada do conteúdo trabalhado em Física I. Em contrapartida, uma vez que a metodologia empregada para a disciplina em questão é utilizada em muitos cursos nesta universidade, é difícil modificá-la sem que haja ampla discussão sobre o tema. Assim sendo, levando em consideração a real necessidade de intervenção no processo de ensino-aprendizagem com o objetivo de melhorar o desempenho dos estudantes, optou-se por adotar nova metodologia no desenvolvimento das atividades empregadas nas aulas de apoio pedagógico, utilizando a estratégia de promover a aprendizagem e operacionalização dos conceitos em Mecânica por meio de tutoriais.

Estes tutoriais tiveram sua eficácia avaliada por meio de pré-testes e pós-testes conceituais de múltipla-escolha, desenvolvidos para mensurar a real capacidade dos alunos em empregar os conceitos e suas definições operacionais em situações-problema. Questões quantitativas que envolvem longos cálculos foram, portanto, excluídas dos testes visando evitar que eventuais dificuldades matemáticas se tornassem impedimento à avaliação dos conceitos.

Nas seções seguintes serão descritas as etapas deste trabalho, bem como alguns conceitos importantes utilizados para a interpretação dos resultados dos pré-testes e pós-testes.

#### **4.1. Observação preliminar**

Com a finalidade de obter uma melhor percepção sobre as turmas para as quais os tutoriais seriam desenvolvidos (Bacharelado em Física e Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra), as aulas do apoio pedagógico foram acompanhadas (pelo autor) durante um período de aproximadamente um ano. Esta observação preliminar teve início no primeiro semestre do ano de 2015 e estendeu-se até o final do segundo semestre do mesmo ano.

O principal objetivo deste acompanhamento foi obter informações mais detalhadas sobre as características das duas turmas, como dificuldades gerais com a Matemática não sanadas durante o Ensino Médio e/ou dificuldades específicas com a disciplina de Física I. Um resultado complementar, e extremamente relevante, foi a percepção do perfil sócio-cultural dos alunos que compunham ambas as turmas.

As aulas do curso de Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra (um bacharelado interdisciplinar, criado por ocasião do REUNI, com a primeira turma iniciando em 2009) aconteciam às segundas-feiras, de 10 h às 12 h, no prédio do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza (CCMN). Durante os dois períodos, as turmas se mostraram extremamente numerosas – acima de 75 alunos.

Os alunos do curso de Bacharelado em Física assistiam às aulas em dois dias da semana (segundas-feiras e quintas-feiras), também no horário de 10 h às 12 h, no Instituto de Física da UFRJ, situado no Centro de Tecnologia (CT). Embora contando com a presença de alguns alunos do curso de Bacharelado em Física Médica, as turmas eram formadas por um número inferior de alunos – em média 50 alunos.

Apesar da diferença no quantitativo de alunos, nas duas turmas uma semelhança se fez notar em todos os semestres: o número de alunos que frequentava as aulas diminuía continuamente com o passar do semestre e decrescia abruptamente após a primeira prova.

A dinâmica dos encontros se dava com a resolução, individualmente ou em grupos, de exercícios propostos, inicialmente pelo professor coordenador do projeto.

Estes exercícios foram gradativamente substituídos ao longo dos semestres por novos, desenvolvidos especialmente para aplicação no projeto de apoio pedagógico. A tabela 4.1 ilustra os tipos de exercícios utilizados em cada semestre.

**Tabela 4.1.** Tipos de exercícios adotados ao longo do ano de 2015.

Semestre	Bacharelado em Física	Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra
2015.1	Propostos pelo coordenador	Propostos pelo coordenador
2015.2	Propostos pelo coordenador	Dois tutoriais (vetores e cinemática unidimensional) e as demais propostas pelo coordenador

Observações mais detalhadas obtidas no ano de 2015 em ambas as turmas se encontram descritas em forma de relato no Apêndice I.

#### 4.2. Desenvolvimento dos tutoriais

A disciplina de Física I tem como objetivo fornecer aos alunos um contato com as ideias básicas em física, destacando-se o campo da Mecânica. Sua ementa oficial é [UFRJ.BR, 2016]:

*Noções de cálculo diferencial e integral e cálculo vetorial. Força, cinemática e dinâmica do ponto material. Leis de Newton. Trabalho. Energia e sua conservação. Momento linear e sua conservação. Cinemática e dinâmica do movimento de rotação. Momento angular e sua conservação. Gravitação.*

O conteúdo abordado neste trabalho, por motivos de tempo, limita-se àquele que precede a primeira prova do curso: estende-se somente até “Energia e sua conservação”. Uma vez delimitado o conteúdo, este foi então dividido em cinco unidades:

Unidade 1 – Vetores

Unidade 2 – Cinemática unidimensional

Unidade 3 – Cinemática vetorial

Unidade 4 – Dinâmica

Unidade 5 – Trabalho e Energia

Após a escolha dos temas a serem abordados, foi feita um levantamento bibliográfico sobre as dificuldades de aprendizagem dos alunos em cada unidade. Estas dificuldades, por sua vez, levaram à criação de uma série de atividades em formato de tutorial. Os tutoriais desenvolvidos para cada unidade podem ser encontrados no Apêndice II. Além disso, o Apêndice III apresenta o Guia do Professor, onde são descritos os objetivos específicos de cada atividade, assim como as dificuldades abordadas e as referências bibliográficas que as sustentam.

### **4.3. Aplicação preliminar dos tutoriais**

No início do segundo semestre de 2015 encontravam-se concluídos os tutoriais referentes às duas primeiras unidades: vetores e cinemática unidimensional. Com o objetivo de verificar sua eficácia e aceitação por parte dos alunos, foram utilizados preliminarmente durante as aulas de apoio pedagógico em Física do curso de Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra.

Assim como os alunos, os monitores também apresentaram certa dificuldade com os tutoriais durante as aulas. Isto se deu pelo fato de não terem recebido treinamento prévio, acarretando um prejuízo no auxílio aos alunos. Por este motivo, o treinamento prévio na utilização do material de todos os envolvidos é fator extremamente importante para o sucesso dos tutoriais.

A aplicação prévia dos tutoriais se mostrou de grande valia para seu aprimoramento: após analisadas as respostas apresentadas pelos alunos ao tutorial sobre cinemática unidimensional, foi percebida a necessidade de modificações na formulação de algumas das atividades.

A demanda de tempo para realização destas atividades se revelou maior do que o tempo disponível. Com isso, optou-se pela aplicação dos tutoriais no primeiro semestre de 2016 somente na turma de apoio pedagógico do curso de Bacharelado em Física, uma vez que estes alunos dispunham de quatro horas semanais para as aulas.

#### **4.4. Aplicação definitiva dos tutoriais**

No primeiro semestre do ano de 2016 todos os tutoriais já se encontravam concluídos. Cada tutorial foi subdividido em duas ou três listas, de acordo com o número de atividades previstas, de forma que cada lista contivesse em torno de cinco atividades. Cada unidade foi dividida da seguinte forma:

Unidade 1 – Vetores – Duas listas

Unidade 2 – Cinemática Unidimensional – Duas listas

Unidade 3 – Cinemática Vetorial – Três listas

Unidade 4 – Dinâmica – Três listas

Unidade 5 – Trabalho e Energia – Duas listas

Estas novas listas foram, então, enviadas aos alunos do curso de Bacharelado em Física por meio de correio eletrônico (*e-mail*) com dois ou três dias de antecedência à aula para que pudessem providenciar a devida impressão.

Durante as aulas os alunos foram encorajados a fazer os exercícios no próprio material impresso, evitando o uso de folhas de caderno. Quando necessário à resolução de determinado exercício, folhas de papel sulfite em tamanho A4 eram fornecidas aos estudantes com o intuito de facilitar uma eventual digitalização e análise de suas respostas.

Aos alunos permitia-se o estudo de forma individual ou por meio de grupos, sendo condição necessária que este não contivesse mais que cinco integrantes, visando evitar maiores distrações durante as aulas. Cada grupo, por sua vez, era acompanhado por um monitor responsável pelo auxílio aos estudantes, bem como recolhimento das listas ao final da aula, posterior correção e entrega ao professor coordenador.

Os monitores receberam treinamento específico para utilização dos tutoriais. Este treinamento se dava por meio de encontros semanais, ocorrendo às segundas-feiras, de 08 h às 10 h. Para tais encontros, o material era enviado com antecedência aos monitores, e estes deveriam imprimi-los. Desta forma, discutia-se o conteúdo das atividades, bem como os objetivos almejados pelo formato de tutorial e as dificuldades que se propunha abordar. Neste treinamento, os monitores deveriam resolver as

atividades (como se fossem estudantes) e após esta etapa discutiam-se os detalhes, enfatizando a postura a ser adotada com os estudantes: não responder diretamente aos questionamentos, tentando guiá-los por meio de perguntas (como num diálogo socrático) e auxiliando-os a avaliar por si próprios a razoabilidade da resposta apresentada.

A resolução do tutorial, após a discussão em sala de aula com os monitores e com o professor, era recolhida pelo professor (para análise), mas não era devolvida com correção aos alunos. O método pressupõe que a avaliação da resposta é feita na discussão em sala de aula, e os alunos eram incentivados a não finalizar a atividade com dúvidas a respeito de suas soluções.

#### **4.5. Avaliação da eficácia dos tutoriais**

Com o objetivo de avaliar a eficácia dos tutoriais utilizados, foram desenvolvidos pré-testes e pós-testes para cada unidade específica. Estes testes eram formados por itens de múltipla-escolha e propunham uma abordagem conceitual do conteúdo. Desta forma, não se objetivava a avaliação da capacidade dos alunos em resolver questões quantitativas, mas esperava-se avaliar a compreensão conceitual dos alunos sobre os temas.

Uma avaliação mais completa da eficácia envolveria uma comparação, em tempos posteriores, do desempenho dos alunos envolvidos com o trabalho. Esta avaliação permitiria estudar a retenção dos conceitos e a melhoria no desempenho a longo prazo, mas não foi possível efetuar-la durante este trabalho.

Os pré-testes eram administrados imediatamente antes do contato dos alunos com o primeiro tutorial da respectiva unidade; os pós-testes eram administrados aproximadamente sete dias após o contato dos alunos com o último tutorial da mesma unidade.

Todos os pré-testes e pós-testes foram administrados no início das aulas de apoio pedagógico, estimando-se aproximadamente vinte minutos para sua resolução. Desta forma, cada teste apresentava no mínimo quatro e no máximo sete itens.

No processo de elaboração dos testes para cada unidade buscou-se uma equivalência entre o pré-teste e o pós-teste: ambos deveriam possuir a mesma quantidade de itens; as mesmas habilidades seriam avaliadas, no entanto, utilizando-se situações diferentes. Além disso, concepções prévias relatadas na literatura de pesquisa em ensino de física deveriam fazer parte dos distratores dos itens.

As habilidades escolhidas para avaliação nos testes tiveram sua origem nos respectivos tutoriais desenvolvidos. Assim sendo, a forma com a qual cada docente opta por lecionar o conteúdo não foi fator determinante na elaboração dos testes. Os responsáveis pelo apoio pedagógico não eram os docentes de Física I.

**Tabela 4.2.** Cronograma de atividades no primeiro período de 2016.

Seg	Treinamento monitores	Teste	Tutorial	Qui	Envio monitores	Teste	Tutorial
04/04	Vetores (1)		Matemática Básica	07/04	Vetores (2) Cinemática 1D (1)	Pré-teste Vetores	Vetores (1)
11/04	Vetores (2) Cinemática 1D (1)		Vetores (2)	14/04	Cinemática 1D (2) Cinemática 3D (1)	Pré-teste Cinemática 1D	Cinemática 1D (1)
18/04	Cinemática 1D (2) Cinemática 3D (1)	Pós-teste Vetores	Cinemática 1D (2)	21/04	Cinemática 3D (2) Cinemática 3D (3)	FERIADO	FERIADO
25/04	Cinemática 3D (2) Cinemática 3D (3)	Pré-teste Cinemática 3D	Cinemática 3D (1)	28/04	Dinâmica (1) Dinâmica (2)	Pós-teste Cinemática 1D	Cinemática 3D (2)
02/05	Dinâmica (1) Dinâmica (2)		Cinemática 3D (3)	05/05	Dinâmica (3) Trabalho e Energia (1)	Pré-teste Dinâmica	Dinâmica (1)
09/05	Dinâmica (3) Trabalho e Energia (1)	Pós-teste Cinemática 3D	Dinâmica (2)	12/05	Trabalho e Energia (2)		Dinâmica (3)
16/05	Trabalho e Energia (2)	Pré-teste Trabalho e Energia	Trabalho e Energia (1)	19/05		Pós-teste Dinâmica	Trabalho e Energia (2)
23/05			Revisão	26/05		FERIADO	FERIADO
30/05		Pós-teste Trabalho e Energia		02/06			

A Tabela 4.2 ilustra de forma detalhada o cronograma seguido para utilização dos tutoriais e aplicação dos pré-testes e pós-testes. Os números entre parênteses indicam qual subdivisão de cada tutorial foi aplicada no dia em questão. Ressalta-se que, para a unidade de Matemática Básica, foram utilizados exercícios quantitativos que já se encontravam elaborados à época do desenvolvimento do trabalho, sendo tal unidade excluída do escopo deste estudo. Os pré-testes e pós-testes desenvolvidos e aplicados para cada unidade podem ser encontrados no Apêndice IV.

#### **4.5.1. Geração e correção de testes – o sistema AtenaME**

Para a geração e correção dos pré-testes e pós-testes foi utilizado o sistema automatizado AtenaME, desenvolvido por Oswaldo Vernet (NCE-UFRJ), Luís Carlos Guimarães (IM-UFRJ) e Marta F. Barroso (IF-UFRJ). Este sistema pode ser alimentado por um arquivo de entrada em formato de texto (.ate, baseado em L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X) contendo os itens do teste, ou cada item pode ser digitado diretamente na interface do programa.

O sistema AtenaME apresenta restrição em relação ao quantitativo de itens por testes (25), mas não apresenta restrição em relação à quantidade de distratores por item. É possível ainda solicitar ao sistema que inclua a alternativa “não sei” em todos os itens.

O sistema gera a quantidade de testes desejada, juntamente com seus cartões resposta. Esses testes são, quando desejado, diferentes para cada aluno: a ordem das questões é aleatória, e a ordem de apresentação das alternativas (a correta e os distratores) também o é. Também é possível uma integração com o software Maxima, de forma a gerar questões diferentes para os alunos [Vernet, 2013]. Caso esteja disponível a lista nominal dos alunos em formato de planilha, ela pode ser utilizada para a geração de testes nominais aos alunos, acompanhados pela lista de presença. Neste último caso, serão gerados testes na mesma quantidade de alunos identificada na planilha.

Uma vez que os itens foram devidamente digitados no sistema e as demais configurações selecionadas, este gerará os testes em um único arquivo PDF. Os itens terão sua ordem aleatoriamente embaralhada, assim como os distratores de cada item.

Após a aplicação dos testes, seus cartões resposta são lidos opticamente em um escâner rápido de folhas soltas, dando origem a um arquivo de imagem em formato

TIFF, que é inserido no sistema e utilizado para a correção automatizada dos testes. O sistema AtenaME fornece, como resultado da correção, um arquivo com extensão .xls contendo três planilhas. A primeira planilha, mostrada na Figura 4.1, contém os testes em ordem alfabética, com um resumo dos resultados: para cada teste, o total de acertos, erros, respostas múltiplas, questões em branco e de opções “não sei”, informando consequentemente a nota do aluno no teste.

**Figura 4.1.** Primeira planilha (resumo) do arquivo de correção do sistema AtenaME.

#Teste	Nome	Certas	Erradas	Brancas	Múltiplas	Não sei
1		2	3	0	0	2
2		5	2	0	0	0
3		5	0	0	0	2
4		2	3	0	0	2
5		4	3	0	0	0
6		4	3	0	0	0
7		1	1	0	0	5
8		2	3	0	0	2
9		2	4	0	0	1
10		2	4	0	0	1
11		2	4	0	0	1
12		4	2	0	0	1

A segunda planilha, mostrada na Figura 4.2, fornece a resposta assinalada por cada aluno em seu cartão de respostas, permitindo que as suas respostas sejam conferidas em caso de necessidade.

**Figura 4.2.** Segunda planilha do arquivo de correção do sistema AtenaME

#Teste	Nome	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7
1		C	não sei	B	A	B	C	não sei
2		A	D	D	B	B	A	C
3		não sei	A	D	A	D	B	não sei
4		C	C	A	não sei	A	não sei	C
5		C	B	B	B	D	A	C
6		A	C	D	A	C	A	B
7								
8		não sei	não sei	não sei	D	não sei	C	não sei
9		não sei	A	não sei	A	D	A	D
10		D	A	D	não sei	B	A	D
11		B	A	não sei	C	A	C	A
12		A	não sei	C	C	A	C	B

A terceira planilha, na Figura 4.3, informa as escolhas normalizadas, isto é, seguindo o padrão adotado pelo sistema (eliminando a aleatorização das questões e respostas). Ao digitar os itens do teste na interface do sistema, este adota como padrão a

letra “A” para a resposta correta. No entanto, o sistema se encarrega de embaralhar aleatoriamente a resposta e os distratores de cada item, de forma que cada exemplar da prova possua seu próprio gabarito. Sendo assim, a análise superficial das opções marcadas individualmente por cada aluno em seu cartão de respostas seria uma tarefa árdua, não fosse o algoritmo do próprio sistema que desfaz o embaralhamento inicial e apresenta as respostas dos alunos na forma chamada “normalizada”, ou seja, a opção “A” representando a resposta correta e as demais alternativas representando cada distrator específico.

**Figura 4.3.** Terceira planilha do arquivo de correção do sistema AtenaME.

#Teste	Nome	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7
1		A	não sei	B	B	B	não sei	A
2		A	A	B	B	A	A	A
3		A	A	não sei	não sei	A	A	A
4		A	não sei	B	não sei	D	C	A
5		A	A	B	B	A	C	A
6		A	A	A	A	B	B	D
7								
8		não sei	não sei	não sei	não sei	D	A	não sei
9		não sei	não sei	B	A	A	C	C
10		D	não sei	A	A	B	D	D
11		A	C	B	B	B	não sei	A
12		A	não sei	B	A	A	A	B
13								
14		A	A	A	A	A	A	A
15								
16								
17								

#### 4.6. Análise dos resultados

Um dos objetivos deste trabalho é avaliar a eficácia dos tutoriais utilizando pré-testes e pós-testes como ferramentas de comparação. Por meio desta análise é possível obter uma avaliação mais refinada do efeito dos tutoriais sobre o desempenho dos alunos, indicando se determinado conceito e/ou processo cognitivo foi devidamente compreendido. Descreve-se a seguir, em detalhes, o método empregado, bem como possíveis resultados para a análise.

##### 4.6.1. Ganho e perda: definição e condições de aplicabilidade

Ao analisar a eficácia dos tutoriais por meio dos pré-testes e pós-testes, pode-se definir alguns indicadores importantes que serão extremamente úteis em uma avaliação mais refinada.

Tome-se como exemplo a unidade de vetores (Unidade 1). O pré-teste e pós-teste referentes a este conteúdo possuem sete itens, e a cada um destes o aluno pode responder de forma correta ou errada. Para cada item em específico, portanto, há quatro possíveis resultados, conforme mostrado na Tabela 4.3, com o exemplo do item 1.

**Tabela 4.3.** Possíveis resultados para o item 1.

<b>RESULTADOS POSSÍVEIS</b>			
	<b>Pré-Teste</b>	<b>Pós-Teste</b>	<b>Definição</b>
<b>Item 1</b>	Correto	Correto	Permanência positiva
	Correto	Errado	Perda
	Errado	Correto	Ganho
	Errado	Errado	Permanência negativa

Sendo assim, cada indicador apresentado pode ser descrito da seguinte forma:

- Ganho: ocorre quando determinado aluno responde de forma incorreta no pré-teste e de forma correta no pós-teste. Acredita-se, desta forma, que os tutoriais influenciaram *positivamente* a estrutura cognitiva do aluno;
- Perda: ocorre quando determinado aluno responde de forma correta no pré-teste e de forma errada no pós-teste. Acredita-se, desta forma, que os tutoriais influenciaram *negativamente* a estrutura cognitiva do aluno;
- Permanência positiva: ocorre quando determinado aluno responde de forma correta nos dois testes. Acredita-se, desta forma, que os tutoriais ou (1) não exerceram qualquer influência sobre a estrutura cognitiva do aluno ou (2) corroboraram positivamente com as concepções prévias do aluno;
- Permanência negativa: ocorre quando determinado aluno responde de forma errada em ambos os testes. Acredita-se, desta forma, que os tutoriais ou (1) não exerceram qualquer influência sobre a estrutura cognitiva do aluno ou (2) corroboraram negativamente com as concepções prévias do aluno.

Para efeitos de adequação, a escolha da alternativa “não sei” para determinado item é computada como resposta incorreta.

A análise dos resultados em termos dos indicadores descritos acima apresenta vantagens sobre a mera comparação de notas globais: uma vez que esta análise pode ser feita item a item, é possível obter um resultado mais refinado da eficácia dos tutoriais.

Caso cada item seja elaborado de forma a mensurar o desempenho dos alunos em determinado processo cognitivo, esta análise fornece de forma clara e direta uma primeira avaliação da capacidade dos tutoriais em exercer influência sobre esta habilidade, seja esta influência positiva ou negativa.

Em contrapartida, caso a população amostral seja demasiadamente pequena, existe o risco de não haver quantitativo significativo de dados para análise. Isto se dá pela necessidade de participação tanto no pré-teste quanto no pós-teste para que determinado aluno tenha seu desempenho computado. Caso o aluno não esteja presente em qualquer um dos testes, não será possível caracterizar seu desempenho, devendo consequentemente ser descartado.

No capítulo a seguir serão detalhados os resultados obtidos nos pré-testes e pós-testes de cada unidade segundo a definição aqui apresentada, acompanhados de uma breve discussão.

## Capítulo 5

### Resultados

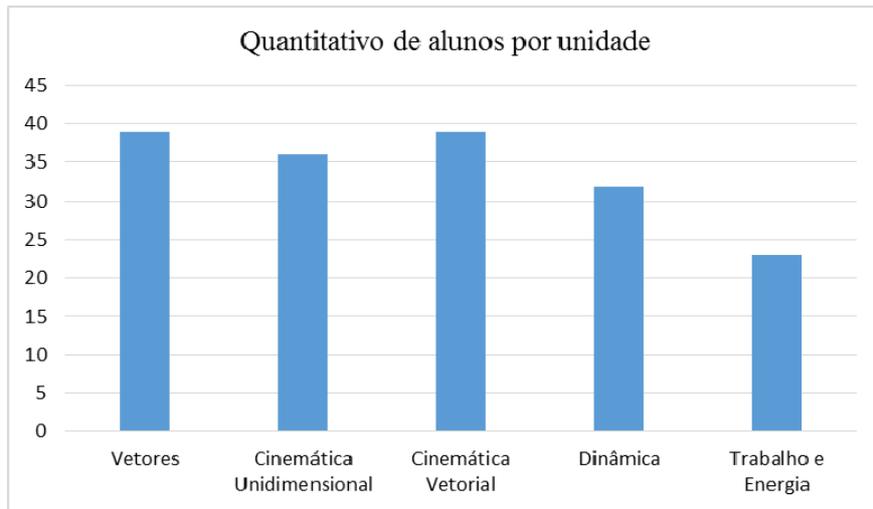
Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação dos pré-testes e pós-testes de cada unidade em específico. A finalidade é, portanto, que a partir da comparação dos desempenhos dos alunos nos dois testes possa-se obter evidências sobre a eficácia dos tutoriais.

A efetiva contribuição dos tutoriais para o processo de aprendizagem dos estudantes deveria levar em conta também uma avaliação após um certo tempo (por exemplo, por ocasião de um exame dois meses após a instrução), que possibilitasse a verificação da estabilização na estrutura cognitiva dos estudantes das eventuais alterações na aprendizagem. No entanto, dentro das condições (de tempo) deste trabalho, não foi possível fazer este tipo de avaliação.

Conforme discutido no capítulo 4, este estudo está baseado na comparação do desempenho nos testes, que foram administrados em instantes distintos. Esta comparação, por sua vez, deve ser feita de forma individual; em outras palavras, para que se obtenha um dado válido sobre determinado aluno em uma unidade qualquer, é necessário que este tenha participado tanto do pré-teste quanto do pós-teste desta unidade. Caso contrário, não será possível obter a evolução do desempenho deste aluno para esta unidade.

A Figura 5.1 mostra o gráfico que apresenta o quantitativo de alunos que efetivamente participou de ambos os testes – pré-teste e pós-teste – em cada unidade.

Pode-se observar da figura que o número de alunos participantes em ambos os testes se manteve relativamente constante, com leve diminuição na unidade de Trabalho e Energia. Pode-se atribuir esta queda à época de administração dos testes; a primeira prova do bimestre aproximava-se e a participação nos testes não era obrigatória, e alguns alunos deixaram de ir às aulas de apoio pedagógico para estudar para as provas.



**Figura 5.1.** Número de alunos participantes em ambos os testes por unidade.

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados dos testes para cada unidade, adotando-se as definições introduzidas no capítulo anterior para *ganho*, *perda*, *permanência positiva* (PP) e *permanência negativa* (PN). Para cada unidade, os dados serão dispostos em tabelas indicando o quantitativo de alunos em cada categoria, levando-se em consideração somente aqueles que participaram de ambos os testes. Uma segunda tabela apresentará estes resultados em índices percentuais, visando facilitar a análise, seguindo as expressões:

$$\% PP = 100 \left( \frac{PP}{PP + Perda} \right)$$

$$\% Perda = 100 \left( \frac{Perda}{Total\_de\_participantes} \right)$$

$$\% Ganho = 100 \left( \frac{Ganho}{Total\_de\_participantes} \right)$$

$$\% PN = 100 \left( \frac{PN}{PN + Ganho} \right)$$

## 5.1. Resultados em cada unidade

### 5.1.1. Unidade 1: Vetores

Os resultados numéricos do desempenho dos alunos estão apresentados na Tabela 5.1. Os mesmos resultados, em percentual, estão na Tabela 5.2.

O primeiro item não foi considerado, pois apresentava uma dificuldade na redação que impossibilitou a análise. Chama-se a atenção na tabela que os percentuais não devem somar 100%; os conceitos de perda e ganho são complementares, ambos medidos em relação ao total de participantes; já a permanência positiva (correto tanto no pré quanto no pós-teste) e a permanência negativa (incorreto tanto no pré quanto no pós-teste) são medidos em relação ao quantitativo de alunos com desempenho correto ou incorreto, respectivamente, no pré-teste.

**Tabela 5.1.** Unidade 1- Vetores: resultados por item.

Resultado da comparação	Item						
	1	2	3	4	5	6	7
PP	**	12	17	5	22	16	27
Perda	**	6	2	14	6	4	2
Ganho	**	8	12	9	6	7	6
PN	**	13	8	11	5	12	4
Total de participantes	39						

**Tabela 5.2.** Unidade 1- Vetores: resultados (percentual) por item.

Resultado da comparação	Item						
	1	2	3	4	5	6	7
%PP	**	67%	89%	26%	79%	80%	93%
%Perda	**	15%	5%	36%	15%	10%	5%
%Ganho	**	21%	31%	23%	15%	18%	15%
%PN	**	62%	40%	55%	45%	63%	40%
Total de participantes	39						

A análise por item dos resultados está resumida na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3.** Resumo da análise dos resultados obtidos na Unidade 1 – Vetores.

<b>Item</b>	<b>Comentários</b>
1	Este item apresentou problemas em sua redação e foi consequentemente descartado.
2	Neste item observam-se baixo índice de perda, ganho moderado e altos índices de permanência positiva e negativa. Estes dados sugerem que a metodologia tenha sido eficaz para uma pequena parcela da turma. Para a maioria da turma a metodologia se mostrou ineficaz para esta habilidade, justificado pelos altos índices de PP e PN.
3	Neste item observa-se o maior índice de ganho do teste, bem como o menor índice de perda. Este fato sugere que a metodologia tenha exercido influência extremamente positiva sobre os alunos. O alto índice de PP sugere que esta habilidade já seja dominada para grande parte dos alunos.
4	Este item apresenta o maior índice de perda do teste, bem como alto índice de permanência negativa. Estes dados sugerem que a metodologia para esta habilidade tenha sido extremamente prejudicial aos alunos, não tendo contribuído para sanar quaisquer dúvidas. Há ganho moderado, porém este pode ser considerado inexpressivo quando comparado à parcela referente à perda e PN.
5	Neste item pode-se observar alto índice de PP e baixo índice de perda. Apresenta ainda ganho razoável. Sugere que esta habilidade seja dominada pelos alunos antes mesmo da aplicação dos tutoriais. Por outro lado, aqueles que inicialmente apresentavam dificuldade com esta habilidade, os dados apontam para uma boa eficácia das atividades.
6	Observam-se altos índices de PN e PP. Este fato indica que os tutoriais não exerceram aparente influência sobre os alunos em respeito a esta habilidade. Contudo, ainda assim se observa algum ganho.
7	Este item apresenta o maior índice de PP do teste acompanhado de baixíssimo índice de perda. Os dados sugerem que a habilidade seja dominada pelos alunos antes mesmo de trabalharem com os tutoriais. Estes, por sua vez, parecem ter exercido pouca influência sobre os alunos.

### 5.1.2. Unidade 2: Cinemática Unidimensional

Os resultados para a unidade de cinemática unidimensional são descritos a seguir, nas Tabelas 5.4 (resultado numérico por item) e 5.5 (resultado percentual). A Tabela 5.6 apresenta o resumo dos resultados.

**Tabela 5.4.** Unidade 2: Cinemática Unidimensional – resultado por item (numérico).

Resultado da comparação	Item						
	1	2	3	4	5	6	7
PP	20	26	22	11	1	8	12
Perda	2	2	2	16	2	3	3
Ganho	3	5	6	2	13	8	6
PN	11	3	6	7	20	17	15
Total de participantes	36						

**Tabela 5.5.** Unidade 2: Cinemática Unidimensional – resultado por item (percentual).

Resultado da comparação	Item						
	1	2	3	4	5	6	7
%PP	91%	93%	92%	41%	33%	73%	80%
%Perda	6%	6%	6%	44%	6%	8%	8%
%Ganho	8%	14%	17%	6%	36%	22%	17%
%PN	79%	38%	50%	78%	61%	68%	71%
Total de participantes	36						

**Tabela 5.6.** Resumo da análise dos resultados da Unidade 2 – Cinemática Unidimensional.

Item	Comentários
1	Este item apresenta altos índices de PP e PN, aliados a baixos índices de ganho e perda. Estes dados sugerem que esta habilidade seja dominada por boa parte dos alunos. Além disso, os tutoriais se mostraram ineficazes para esta habilidade, uma vez que aproximadamente 30% da turma (11 alunos) não apresentaram qualquer melhora.
2	Neste item observa-se o maior índice de PP da unidade, acompanhado de baixíssima perda e ganho razoável. Os dados sugerem que grande parte dos alunos domine esta habilidade. Entretanto, os tutoriais tiveram boa influência sobre aqueles que inicialmente apresentavam dificuldades.
3	No item #3 verifica-se alto índice de PP, baixíssima perda e ganho razoável. Esta habilidade é aparentemente bem dominada por boa parte dos alunos. Contudo, os resultados sugerem que os tutoriais tiveram efeito positivo.

4	No item #4 verifica-se o maior índice de perda de toda a unidade e o menor índice de ganho. Estes dados sugerem que esta habilidade seja, <i>a priori</i> , bem dominada pelos alunos (75% de acerto no pré-teste, que solicita transformar um gráfico de velocidade em gráfico de aceleração). Por outro lado, aparentemente ela foi negativamente afetada pelos tutoriais desenvolvidos. Uma observação mais cuidadosa permite verificar a não equivalência adequada do item no pré e no pós-teste (transformar gráfico de aceleração em gráfico de velocidade).
5	Neste item verifica-se o menor índice de PP da unidade e alto índice de PN. No entanto, verifica-se igualmente o maior índice de ganho de todo o teste. Estes dados sugerem que esta habilidade seja extremamente difícil para os alunos; no caso, desconhecida por 33 alunos dentre os 36 avaliados (Ganho + PN), uma vez que responderam de forma incorreta no pré-teste. Apesar da dificuldade, o altíssimo índice de ganho indica ótima influência dos tutoriais sobre esta habilidade.
6	No item #6 observa-se alto índice de PN, baixo índice de perda e bom índice de ganho. Os dados apresentados sugerem que esta habilidade seja difícil para os alunos, tendo em vista que 25 alunos (Ganho + PN) responderam inicialmente de forma incorreta. No entanto, o bom índice de ganho indica que os tutoriais contribuíram positivamente.
7	O item #7 apresenta alto índice de PN e PP, baixo índice de perda e ganho razoável. Esta habilidade é aparentemente desconhecida por grande parte dos alunos. Contudo, os tutoriais apresentaram alguma melhora no desempenho daqueles que inicialmente apresentavam dificuldades.

### 5.1.3. Unidade 3: Cinemática Vetorial

Os resultados para a unidade de cinemática vetorial são descritos a seguir, nas Tabelas 5.7 (resultado numérico por item) e 5.8 (resultado percentual). A Tabela 5.9 apresenta o resumo dos resultados.

**Tabela 5.7.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – resultados por item (numérico).

Resultado da comparação	Item				
	1	2	3	4	5
PP	22	25	11	6	7
Perda	2	5	3	8	13
Ganho	7	7	6	8	11
PN	8	2	19	17	8
Total de participantes	39				

**Tabela 5.8.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – resultados por item (percentual).

Resultado da comparação	Item				
	1	2	3	4	5
%PP	92%	83%	79%	43%	35%
%Perda	5%	13%	8%	21%	33%
%Ganho	18%	18%	15%	21%	28%
%PN	53%	22%	76%	68%	42%
Total de participantes	39				

**Tabela 5.9.** Resumo da análise dos resultados da Unidade 3 – Cinemática Vetorial.

Item	Comentários
1	O item #1 apresenta o maior índice de PP e a menor taxa de perda da unidade. Os dados sugerem que esta habilidade seja bem dominada por grande parte dos alunos e que os tutoriais ajudaram a recuperar boa parte dos alunos que apresentava dificuldade no pré-teste.
2	Neste item observa-se alto índice de PP e bom ganho. Por outro lado, apresenta igualmente alto índice de perda. Os tutoriais tiveram forte impacto positivo sobre os alunos que inicialmente apresentavam dificuldades. Em contrapartida, alguma influência negativa é igualmente observada.
3	No item #3 verifica-se o maior índice de PN da unidade, acompanhado de baixo índice de perda e o menor índice de ganho. Esta habilidade é aparentemente difícil para grande parte dos alunos e os tutoriais contribuíram pouco para a reversão deste quadro.
4	Neste item, embora tenha havido algum ganho, os altos índices de perda e PN sugerem que esta habilidade seja de difícil abordagem pelos tutoriais propostos. Não obstante, estes tiveram grande influência negativa, justificando o alto índice de perda.
5	O item #5 apresenta concomitantemente os maiores índices de perda e ganho da unidade. Este último sugere que os tutoriais tenham contribuído positivamente com os alunos que inicialmente apresentavam dificuldades. Por outro lado, o alto índice de perda sugere que (1) os tutoriais tenham causado certo prejuízo aos alunos que acertaram o item no pré-teste ou (2) que estes alunos não tenham prestado a devida atenção às atividades propostas, refletindo um falso domínio da habilidade em questão. Ambas as possibilidades são possíveis; contudo, tendo em vista o altíssimo índice de ganho no item, o segundo argumento se mostra mais plausível.

#### 5.1.4. Unidade 4: Dinâmica

Os resultados para a unidade de dinâmica são descritos a seguir, nas Tabelas 5.10 (resultado numérico por item) e 5.11 (resultado percentual). A Tabela 5.12 apresenta o resumo dos resultados.

**Tabela 5.10.** Unidade 4: Dinâmica – resultados por item (numérico).

Resultado da comparação	Item					
	1	2	3	4	5	6
PP	19	9	8	23	22	10
Perda	2	8	3	3	1	9
Ganho	4	4	3	3	5	1
PN	7	11	18	3	4	12
Total de participantes	32					

**Tabela 5.11.** Unidade 4: Dinâmica – resultados por item (percentual).

Resultado da comparação	Item					
	1	2	3	4	5	6
%PP	90%	53%	73%	88%	96%	53%
%Perda	6%	25%	9%	9%	3%	28%
%Ganho	13%	13%	9%	9%	16%	3%
%PN	64%	73%	86%	50%	44%	92%
Total de participantes	32					

**Tabela 5.12.** Resumo da análise dos resultados da Unidade 4 – Dinâmica.

Item	Comentários
1	Neste item observa-se alto índice de PP e algum ganho, apesar do razoável índice de PN. Estes dados sugerem que esta habilidade seja bem dominada pelos alunos e que o efeito dos tutoriais foi positivo.
2	No item #2 observam-se altos índices de PN e perda, acompanhados de baixo ganho. Sugerem, portanto, que esta habilidade, além de difícil, não foi devidamente trabalhada nos tutoriais. O quadro apresentado para esta habilidade poderia ser igualmente explicado caso houvesse dissonância na dificuldade dos itens utilizados no pré-teste e no pós-teste: se (1) o item utilizado no pré-teste for demasiadamente fácil ou (2) aquele utilizado no pós-teste for muito difícil, resultados compatíveis com aqueles apresentados seriam plausíveis.
3	O item #3 apresenta o maior índice de PN e iguais índices de ganho e perda. Estes dados sugerem que esta habilidade seja muito difícil para os alunos, visto que mais de 50% da turma respondeu de forma errada

	no pré-teste (Ganho + PN). Além disso, os tutoriais tiveram pouco resultado para a reversão deste quadro.
4	Neste item observa-se alto índice de PP, baixo índice de PN e algum ganho. Os dados sugerem que esta habilidade seja razoavelmente fácil para boa parte dos alunos e que os tutoriais tiveram algum resultado em ajudar aqueles que inicialmente apresentavam dificuldade.
5	No item #5 observam-se os maiores índices de PP e ganho da unidade, acompanhados do menor índice de perda. Estes resultados sugerem que esta habilidade seja bem dominada por grande parte dos alunos. Além disso, os tutoriais tiveram grande eficácia na recuperação daqueles que responderam de forma incorreta no pré-teste.
6	O item #6 apresenta os maiores índices de PN e de perda da unidade, associado ao menor índice de ganho. Os dados apontam que esta habilidade, apesar de inicialmente bem dominada por grande parte dos alunos – 19 alunos responderam corretamente no pré-teste – não foi bem trabalhada pelos tutoriais, refletido no alto índice de perda.

#### 5.1.5. Unidade 5: Trabalho e Energia

Os resultados para a unidade de trabalho e energia são descritos a seguir, nas Tabelas 5.13 (resultado numérico por item) e 5.14 (resultado percentual). A Tabela 5.15 apresenta o resumo dos resultados.

**Tabela 5.13.** Unidade 5: Trabalho e energia – resultados por item (numérico).

Resultado da comparação	Item			
	1	2	3	4
PP	10	11	6	7
Perda	1	8	8	7
Ganho	7	1	4	3
PN	5	3	5	6
Total de participantes	23			

**Tabela 5.14.** Unidade 5: Trabalho e energia – resultados por item (percentual).

Resultado da comparação	Item			
	1	2	3	4
%PP	91%	58%	43%	50%
%Perda	4%	35%	35%	30%
%Ganho	30%	4%	17%	13%
%PN	42%	75%	56%	67%
Total de participantes	23			

**Tabela 5.15.** Resumo da análise dos resultados da Unidade 5 – Trabalho e energia.

<b>Item</b>	<b>Comentários</b>
1	O item #1 apresenta o maior índice de ganho e menor índice de perda de toda a unidade. Os dados indicam que esta habilidade não era dominada por mais de 50% dos alunos (12 alunos) e que os tutoriais tiveram ótimo resultado na reversão deste quadro. O baixo índice de perda sugere que as atividades não prejudicaram significativamente aqueles que inicialmente responderam corretamente o item.
2	Neste item observa-se o menor índice de ganho da unidade, acompanhado de altos índices de perda e PN. Estes resultados indicam que esta habilidade é <i>a priori</i> bem dominada pela maior parte dos alunos. Contudo, tutoriais tiveram influência negativa sobre os alunos que inicialmente não apresentavam dificuldades.
3	No item #3 verifica-se altíssimo índice de perda aliado a um razoável índice de ganho. Este quadro sugere que os exercícios tutoriais tiveram influência positiva sobre aqueles que inicialmente apresentavam dificuldades. Por outro lado, o alto índice de perda indica que (1) o respectivo item dos testes tenha sido mal elaborado ou (2) que os tutoriais tenham causado algum prejuízo aos alunos.
4	Este item apresenta alto índice de perda e PN. Os dados sugerem que os tutoriais não foram eficazes em auxiliar aos alunos quanto a esta habilidade.

## 5.2. Algumas considerações qualitativas sobre os resultados

Os indicadores utilizados para a classificação do desempenho dos alunos em cada item dos testes foram definidos visando maior conveniência na análise dos resultados. Estes indicadores, por conseguinte, podem ser redefinidos segundo a eventual necessidade ou especificidade de cada investigação em particular. No entanto, independentemente da forma como sejam definidos, o cerne da investigação jaz na forma como estes indicadores são interpretados e utilizados como ferramentas norteadoras para novas investigações.

Não há, neste trabalho, patamares a ser atingidos ou determinados resultados a ser alcançados; os indicadores aqui utilizados têm a finalidade de servir como evidência dos efeitos causados pela intervenção pedagógica adotada – a utilização de atividades em formato de tutorial como ferramenta de aprendizagem em física. Os comentários sobre cada item em particular expostos na seção anterior apresentam conclusões sumárias que podem ser obtidas através da análise em conjunto dos indicadores utilizados – ganho, perda, permanência positiva e permanência negativa. É papel do

investigador interpretar tais conjuntos de dados e traçar novas estratégias para confirmar ou rejeitar suas hipóteses.

A título de exemplo, pode-se citar o item #1 da unidade de Trabalho e Energia. A análise dos resultados para este item aponta que o resultado obtido pela metodologia para esta habilidade foi extremamente satisfatório. Através da Tabela 5.13 nota-se que, dos 11 alunos que inicialmente responderam de forma correta no pré-teste (PP + Perda), apenas 1 aluno respondeu de forma incorreta no pós-teste. Este dado sugere que os tutoriais não causaram prejuízo aos alunos em respeito a esta habilidade, uma vez que a grande maioria se manteve respondendo corretamente após a intervenção. Além disso, dos 12 alunos que responderam de forma incorreta no pré-teste (Ganho + PN), 7 obtiveram sucesso ao responder item semelhante no pós-teste. Este dado aponta uma recuperação de mais da metade dos alunos que inicialmente apresentavam dificuldades. Em outras palavras, nesta habilidade se obteve alto índice de reversão do fraco desempenho sem prejuízo significativo àqueles que já a dominavam.

Em contrapartida, em alguns itens os dados apontam para um efeito reverso ao desejado. Como exemplo, tome-se o item #4 da unidade de Cinemática Unidimensional. A Tabela 5.4 aponta que, dos 27 alunos que responderam corretamente no pré-teste (PP + Perda), 16 alunos responderam de forma incorreta no pós-teste. Este dado sugere que os tutoriais desenvolvidos tiveram um efeito contrário ao esperado para esta habilidade: contribuíram para que aqueles alunos que já a dominavam não fossem capazes de responder corretamente no pós-teste. Não obstante, dos 9 alunos que responderam de forma incorreta no pré-teste (Ganho + PN), apenas 2 alunos conseguiram reverter esta situação no pós-teste. Estas informações combinadas levam a supor que os tutoriais para esta habilidade necessitam de uma grande modificação, para serem mais eficazes em seus objetivos. No entanto, uma análise mais cuidadosa do enunciado das questões correspondentes no pré-teste e no pós-teste revela que elas não são equivalentes quanto ao conteúdo e às habilidades necessárias para resolução.

Alguns itens, contudo, apresentam resultados de difícil interpretação. Como exemplo, tome-se o item #5 da unidade de Cinemática Vetorial. A Tabela 5.7 aponta que houve altos índices de perda e ganho em respeito a esta habilidade. Dos 20 alunos que responderam inicialmente de forma correta (PP + Perda), 13 alunos não repetiram o bom desempenho no pós-teste. Seria plausível supor, neste caso, que as atividades

tenham contribuído de forma negativa, prejudicando o desempenho dos alunos. Por outro lado, dos 19 alunos que responderam de forma incorreta no pré-teste (Ganho + PN), 11 alunos mostraram avanço no pós-teste. Isto indica que os tutoriais obtiveram sucesso. Desta forma, estes dados, quando analisados em conjunto configuram situações controversas. Não se pode tão prontamente afirmar que os exercícios tutoriais lograram êxito ou fracassaram. São necessárias novas investigações para se chegar a uma conclusão acerca da eficácia destas atividades.

### **5.3. O limite dos testes**

Conforme discutido no Capítulo 2, *testes* são instrumentos de medida com finalidade específica: descrever numericamente o grau ou quantidade da aprendizagem sob condições uniformes e padronizadas. Sendo assim, para se assegurar confiabilidade em suas medições, torna-se imprescindível que tais instrumentos estejam sensíveis às especificidades daquilo que se deseja medir. Em outras palavras, é necessário que tais testes tenham seus itens devidamente validados.

O processo de validação de itens visa assegurar que (1) o item meça exatamente a habilidade em questão e (2) que os dados fornecidos pela aplicação do item a um conjunto de alunos espelhem a real capacidade destes em resolvê-lo – ou um cenário bem próximo da realidade. Por outro lado, o processo de validação de itens é complexo e demanda tempo – muitas vezes vários semestres. É necessário também, dentre outras etapas do processo de validação, que os itens sejam submetidos a uma criteriosa análise por especialistas no conteúdo – para que se possa chegar a uma versão precisa e confiável deste item [Engelhardt, 2009].

Neste trabalho houve a necessidade de elaboração de itens para composição dos pré-testes e pós-testes em um intervalo de tempo incompatível com o processo acima descrito. Esta elaboração rápida não seria desejável neste tipo de trabalho. Visando mitigar possíveis prejuízos oriundos da ausência do processo de validação, os itens foram elaborados baseando-se estritamente nas habilidades e competências descritas como problemáticas na literatura utilizada para elaboração dos tutoriais. Não há dúvidas que a adoção de itens devidamente validados contribuiria fortemente para a obtenção de resultados mais expressivos em respeito à eficácia dos tutoriais, levando a diagnósticos mais precisos e de fácil interpretação.

## Capítulo 6

### Considerações finais

Os resultados apresentados no capítulo anterior indicam que, apesar de algumas unidades apresentarem resultados animadores, há ainda muito trabalho a ser feito visando o aprimoramento dos tutoriais e das ferramentas utilizadas para sua análise de desempenho. Não restam dúvidas, porém, que esta abordagem pode em muito contribuir para uma melhor aprendizagem dos conceitos de física básica. Além disso, tendo em vista que os cursos do segmento STEM possuem disciplinas correlatas em seus ciclos básicos, não é difícil crer que esta abordagem teria eficácia semelhante caso aplicada a outras disciplinas destes cursos, em seus segmentos iniciais.

Outro fator importante que contribuiu fortemente para o resultado foi a interação social dos estudantes com seus colegas e com os alunos monitores, promovida pela abordagem. Para especialistas no estudo da cognição humana e do processo de ensino-aprendizagem, como Vigotsky [Vigotsky *apud* Moreira, 2014], a interação social tem papel fundamental no sucesso deste processo; é por meio desta interação que instrumentos e signos são compartilhados, permitindo o desenvolvimento de funções mentais ou processos psicológicos superiores:

*[...] Sem interação social, ou sem intercâmbio de significados, dentro da zona de desenvolvimento proximal do aprendiz, não há ensino, não há aprendizagem e não há desenvolvimento cognitivo. Interação e intercâmbio implicam, necessariamente, que todos os envolvidos no processo ensino-aprendizagem devam falar e tenham a oportunidade de falar. [Moreira, 2014]*

Nesta perspectiva, pode-se interpretar que a melhoria no desempenho dos alunos corresponde a um processo de internalização de novos significados, abandono de outros que se mostram improdutivos e possível coexistência entre significados incompatíveis com a visão científica e significados aceitos cientificamente. Segundo esta ótica, os tutoriais se apresentam como forte ferramenta capaz de promover a discussão sobre determinados conceitos, favorecendo assim a interação social entre alunos, monitores e professores e reforçando visões aceitas cientificamente.

Ao se considerar uma maior retenção universitária como objetivo subjacente desejado, a recuperação de alunos fracamente preparados torna-se um dos muitos desafios para se alcançar menores índices de evasão. A metodologia aqui apresentada rompe com os hábitos daquela considerada tradicional, onde o aluno é posto em uma condição de passividade, e o leva a uma experiência de construção do conteúdo científico como conhecimento social – cujos conceitos e definições são amplamente compartilhados e aceitos pela comunidade científica – por meio de questionamentos, observações e argumentações.

## Referências

- [Aguirre, 1988] Jose M. Aguirre. Student preconceptions about vector kinematics. *The Physics Teacher*, vol. 26, p. 212, 1988.
- [Almeida et al, 2001] M. Antonieta T. de Almeida, Marta F. Barroso, Eliane B. M. Falcão, Encarnación A. M. Gonzalves, Reversão do desempenho de estudantes em um curso de física básica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 23, n.1, p.83, 2001.
- [Arons, 1997] Arnold B. Arons, *Teaching Introductory Physics*. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [Barroso e Falcão, 2004] Marta F. Barroso e Eliane B. M. Falcão. Evasão Universitária: o caso do Instituto de Física da UFRJ. In: *IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, 2004, Jaboticatubas.
- [Beatty et al., 2006] Ian D. Beatty, William J. Gerace, William J. Leonard and Robert J. Dufresne. Designing effective questions for classroom response system teaching. *American Journal of Physics*, vol. 74, n. 1, p. 31, 2006.
- [Bowden et al., 1992] J. Bowden, G. Dall’Alba, E. Martin, D. Laurillard, F. Marton, G. Masters, P. Ramsden, A. Stephanou and E. Walsh. Displacement, velocity, and frames of reference: Phenomenographic studies of students’ understanding and some implications for teaching and assessment. *American Journal of Physics*, vol. 60, n. 3, p. 262, 1992.
- [Brasil, 2012] Lei 12711, de 29/08/2012. (Dispõe sobre o ingresso nas universidades federais e nas instituições federais de ensino técnico de nível médio e dá outras providências.) Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/Lei/L12711.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/Lei/L12711.htm) , acesso em 22/8/2016.
- [Champagne et al., 1980] Audrey B. Champagne, Leopold E. Klopfer and John H. Anderson. Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 48, n. 12, p. 1074, 1980.
- [Clement, 1982] John Clement. Students’ preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 50, n. 1, p. 66, 1982.
- [Cohen et al, 2011] Louis Cohen, Lawrence Manion & Keith Morrison. *Research Methods in Education*. 7th Edition. New York: Routledge, 2011.
- [Consuni, 2010a] Conselho Universitário da UFRJ – Resolução 16 de 2010. Disponível em <http://www.consuni.ufrj.br/images/Resolucoes/res16-10.pdf>, acesso em 21 de novembro de 2016.
- [Consuni, 2010b] Conselho Universitário da UFRJ – Resolução 17 de 2010. Disponível em <http://www.consuni.ufrj.br/images/Resolucoes/res17-10.pdf> acesso em 21 de novembro de 2016.
- [Court, 1999] James E. Court. Free body diagrams revisited – I. *The Physics Teacher*, vol. 37, p. 427, 1999.
- [Custódio, 2012] Fausto Lima Custódio. A Utilização de Testes Conceituais em Física Básica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Física. Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2012.

- [DiSessa, 1993] Andrea A. diSessa. Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, vol. 10, n° 2-3, p. 105-225, 1993.
- [Engelhardt, 2009] Paula V. Engelhardt. An Introduction to Classical Test Theory as Applied to Conceptual Multiple-Choice Tests. *Reviews in PER*, vol. 2. American Association of Physics Teachers, College Park, MD, 2009.
- [Finkelstein e Pollock, 2005] N. D. Finkelstein, S. J. Pollock. Replicating and understanding successful innovations: Implementing tutorials in introductory physics. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research* vol. 1, 010101, 2005.
- [Flores e Kanim, 2004] Sergio Flores and Stephen E. Kanim. Student use of vectors in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 72, n. 4, p. 460, 2004.
- [Goldberg e Anderson, 1989] Fred M. Goldberg and John H. Anderson. Student difficulties with graphical representations of negative values of velocity. *The Physics Teacher*, vol. 27, p. 254, 1989.
- [Haladyna, 2004] Thomas M. Haladyna. *Developing and Validating Multiple-Choice Test Items*. 3rd Edition. Mahwah: Lawrence Earlbaum, 2004.
- [Halloun e Hestenes, 1985] Ibrahim Abou Halloun and David Hestenes. Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, vol. 53, n. 11, p. 1056, 1985.
- [Hestenes et al, 1992] David Hestenes, Malcolm Wells and Gregg Swackhamer. Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, vol. 30, p. 141, 1992.
- [Lawson e McDermott, 1987] Ronald A. Lawson and Lillian C. McDermott. Student understanding of the work–energy and impulse–momentum theorems. *American Journal of Physics*, vol. 55, n. 9, p. 811, 1987.
- [Lindsey et al., 2009] Beth A. Lindsey, Paula R. L. Heron and Peter S. Shaffer. Student ability to apply the concepts of work and energy to extended systems. *American Journal of Physics*, vol. 77, n. 11, p. 999, 2009.
- [Lindsey et al., 2012] Beth A. Lindsey, Paula R. L. Heron and Peter S. Shaffer. Student understanding of energy: difficulties related to systems. *American Journal of Physics*, vol. 80, n. 2, p. 154, 2012.
- [Mazur, 2015] Eric Mazur. *Peer Instruction: A revolução da aprendizagem ativa*. Porto Alegre: Penso, 2015.
- [McDermott, 1984] Lillian C. McDermott. Research on Conceptual Understanding in Mechanics. *Physics Today*, vol. 37, n. 7, p. 24, 1984.
- [McDermott et al., 1987] Lillian C. McDermott, Mark L. Resenquist and Emily H. van Zee. Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, vol. 55, n. 6, p. 503, 1987.
- [McDermott, 1991] Lillian C. McDermott. Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned – Closing the gap. *American Journal of Physics*, vol. 59, n. 4, p. 301, 1991.

- [McDermott, 1993] Lillian C. McDermott. Guest Comment: How we teach and how students learn – A mismatch?. *American Journal of Physics*, vol. 61, n. 4, p. 295, 1993.
- [McDermott, 1994] Lillian C. McDermott. Research as a guide for teaching introductory mechanics: An illustration in the context of the Atwood's machine. *American Journal of Physics*, vol. 62, n. 1, p. 46, 1994.
- [McDermott e Shaffer, 1996] Lillian C. McDermott, Peter S. Shaffer, & the Physics Education Group. *Physics by Inquiry*. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [McDermott e Shaffer, 2002a] Lillian C. McDermott, Peter S. Shaffer, & the Physics Education Group. *Tutorials in introductory Physics*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [McDermott e Shaffer, 2002b] Lillian C. McDermott, Peter S. Shaffer, & the Physics Education Group. *Tutorials in introductory Physics: Homework*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [McDermott, 2014] Lillian C. McDermott. Melba Newell Phillips Medal Lecture 2013: Discipline-based education research – A view from physics. *American Journal of Physics*, vol. 82, p. 729, 2014.
- [McKinnon e Renner, 1971] Joe W. McKinnon e John W. Renner. Are colleges concerned with intellectual development?. *American Journal of Physics*, vol. 39, p. 1047, 1971.
- [Minstrell, 1982] Jim Minstrell. Explaining the “at rest” condition of an object. *The Physics Teacher*, vol. 20, p. 10, 1982.
- [Moreira, 2014] Marco Antonio Moreira, *Teorias de Aprendizagem*. 2ª Edição. São Paulo: Editoria Pedagógica e Universitária, 2014.
- [Nguyen e Meltzer, 2003] Ngoc-Loan Nguyen and David E. Meltzer. Initial understanding of vector concepts among students in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, vol. 71, n. 6, p. 630, 2003.
- [Rosenquist e McDermott, 1987] Mark L. Rosenquist and Lillian C. McDermott. A conceptual approach to teaching kinematics. *American Journal of Physics*, vol. 55, n. 5, p. 407, 1987.
- [Sesu/MEC, 2014] Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação. A democratização e expansão da educação superior no país: 2003-2014. Disponível em [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=16762-balanco-social-sesu-2003-2014&category\\_slug=dezembro-2014-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=16762-balanco-social-sesu-2003-2014&category_slug=dezembro-2014-pdf&Itemid=30192), acesso em 24/11/2016.
- [Shaffer e McDermott, 2005] Peter S. Shaffer e Lillian C. McDermott. A research-based approach to improving student understanding of the vector nature of kinematical concepts. *American Journal of Physics*, vol. 73, p. 921, 2005.
- [Trowbridge e McDermott, 1980] David E. Trowbridge and Lillian C. McDermott. Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, vol. 48, n. 12, p. 1020, 1980.
- [Trowbridge e McDermott, 1981] David E. Trowbridge and Lillian C. McDermott. Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics*, vol. 49, n. 3, p. 242, 1981.

- [UFRJ.BR, 2016] <https://www.siga.ufrj.br/sira/repositorio-curriculo/disciplinas/9733C8D1-92A4-F713-0056-3E39E7491732.html>, acesso em 28 de agosto de 2016.
- [Vernet, 2013] Oswaldo Vernet. Redigindo itens de conteúdo dinâmico no sistema AtenaME. *Nota Técnica LIMC-2013/01*, disponível em <http://www.limc.ufrj.br/site/arquivos/limc-nt-13-01.pdf> ou <http://www.if.ufrj.br/~marta/limc-notastecnicas/limc-nt-13-01.pdf>, consultados em 7/11/2016.
- [Viennot, 1979] Laurence Viennot. Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. *European Journal of Science Education*, vol. 1, n. 2, p. 205, 1979.
- [Watson et al., 2003] Anna Watson, Panayotis Spirou and David Tall. The relationship between physical embodiment and mathematical symbolism: The concept of vector. *The Mediterranean Journal of Mathematics Education*, vol. 1, n. 2, p. 73-97, 2003.

## **Apêndice I**

### **Relato da observação preliminar do apoio pedagógico**

Neste apêndice serão relatadas observações detalhadas obtidas junto às turmas de Física I dos cursos de Bacharelado em Física e Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra (BCMT) em relação aos dois semestres letivos do ano de 2015. Ressalta-se que o período de interesse deste trabalho limita-se às aulas anteriores à primeira prova de Física destes cursos, que acontecia aproximadamente dois meses após o início das aulas. Portanto, os relatos a seguir se referem exclusivamente às observações feitas durante tal período no decorrer dos semestres.

#### **I.1. Relato da observação preliminar: Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra**

No semestre de 2015.1 a turma do curso de Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra apresentava grande dificuldade na resolução de problemas de matemática básica que deveriam ter sido dominados já no ensino médio, como aqueles envolvendo inequações e números complexos. Em alguns casos as dificuldades apresentadas pelos alunos abrangiam conceitos ainda mais elementares, como operações com frações e definição de números racionais, irracionais e reais.

Durante as primeiras aulas do curso os alunos se mostraram empenhados em trabalhar com as atividades propostas. Contudo, à medida que o nível de dificuldade se elevava, o interesse pelas aulas dava lugar a dois sentimentos distintos: o desespero devido à proximidade da primeira prova ou o conformismo com uma nota bem abaixo da média.

O grande número de alunos presentes nas aulas aliado ao desconhecimento de atitudes adequadas à vida universitária, como dedicação e seriedade nas aulas, foram fatores decisivos para o fracasso de boa parte da turma. Dispondo semanalmente de apenas duas horas, esperava-se que os alunos tirassem proveito dos encontros para trabalharem ao máximo, eliminando suas dúvidas e aumentando assim a possibilidade de aprendizagem. Contudo, foram observados altos índices de atraso (acima de vinte minutos), excesso de conversa durante as aulas, reduzindo o tempo dedicado às

atividades e atrapalhando a concentração, além de saídas antecipadas da aula (por volta de vinte minutos antes do fim) sob a alegação da dificuldade em almoçar dentro do intervalo de uma hora, uma vez que às 13 h os alunos deveriam se dirigir à próxima aula.

Vale notar ainda que boa parte dos alunos desta turma sequer sabia porque havia escolhido este curso. Haviam tentado o vestibular (via ENEM) almejando prioritariamente algum segmento de engenharia, mas não conseguiram a pontuação mínima necessária e escolheram o BCMT como segunda ou terceira opção. O objetivo principal destes alunos era tentar novamente o ingresso no curso desejado, conseqüentemente abandonando o atual curso.

No segundo semestre de 2015 foram utilizados na nova turma os dois primeiros tutoriais que já se encontravam concluídos: vetores e cinemática unidimensional. Os alunos não apresentaram grandes problemas ao trabalhar com o primeiro tutorial (vetores). Já o segundo (cinemática unidimensional) foi um grande desafio para a maioria da turma. Este fato se deu pela pouca habilidade apresentada pelos alunos em raciocinar logicamente. Muitos haviam acabado de ingressar na faculdade, oriundos de um sistema de ensino que priorizava a memorização em detrimento do raciocínio lógico e crítico sobre os fenômenos. A título de exemplo, foi necessário apresentar a todos os alunos o que são fotos estroboscópicas e suas características, como sendo uma seqüência de fotos de um movimento contínuo com intervalos iguais de tempo entre fotos sucessivas.

Outra habilidade exigida era a análise de gráficos, pois o principal enfoque deste tutorial compreendia o desenvolvimento dos conceitos cinemáticos utilizando gráficos de movimentos, como funções horárias (posição x tempo, velocidade x tempo e aceleração x tempo). Tomou-se esta decisão levando em conta que a habilidade em analisar corretamente gráficos não é um resultado comum da abordagem tradicional utilizada durante o ensino médio.

Nesta lista havia dez atividades, das quais cinco foram escolhidas para serem trabalhadas em sala devido ao curto tempo para a aula. Pode-se notar então que muitas das dificuldades já relatadas em pesquisas de ensino de Física, mais especificamente aquelas relacionadas com o ensino da cinemática por meio de gráficos, se fizeram presentes durante toda a aula [McDermott et al., 1987]. Percebeu-se também a presença

de vícios oriundos do processo de memorização de gráficos de movimento, comumente adotados durante o ensino médio. Dentre eles destacam-se a dificuldade em trabalhar com as inclinações dos gráficos, principalmente quando estas variam durante o movimento, e de forma mais expressiva a dificuldade em lidar com áreas sob curvas e associá-las a grandezas físicas. Estas observações levaram a mudanças em algumas atividades, que foram posteriormente reaplicados na turma do Bacharelado em Física em 2016.1.

## **I.2. Relato da observação preliminar: Bacharelado em Física**

Assim como os alunos do curso do BCMT, os do curso de Bacharelado em Física também enfrentaram dificuldades ao trabalharem com os tutoriais propostos em 2015. As turmas eram extremamente diversificadas: havia alunos com grande facilidade em matemática, física e com notável capacidade de argumentação lógico-matemática; outros tinham muitas deficiências.

As turmas apresentavam igualmente falta de maturidade em relação à universidade. Em contrapartida, a maioria dos alunos alegava que havia efetivamente feito a prova do vestibular (Enem) com a intenção de ingressar para este curso. Sendo assim, apesar de todas as adversidades, estes alunos apresentavam uma postura de não-conformismo com o fracasso. Isto não significa que suas notas eram excelentes; mas sim que o fato de não saberem ou não se recordarem de determinado conteúdo não era motivo para que desistissem do curso. Ao contrário das turmas do BCMT, os alunos do Bacharelado em Física repetidamente permaneciam em sala após o fim da aula terminando as atividades que não haviam conseguido finalizar dentro do tempo estipulado, mesmo sabendo que as aulas do apoio pedagógico e o desempenho nas listas não seriam diretamente contabilizados em suas notas.

As dificuldades observadas durante as aulas eram bem distintas: alguns alunos não conseguiam efetuar simples operações matemáticas, como adicionar e subtrair vetores; em outros casos era possível perceber dúvidas conceituais ainda mais intrincadas, como aquelas relacionadas à Terceira Lei de Newton. Eventualmente alguns estudantes acreditavam e defendiam com veemência que as forças peso e normal de contato formavam um par ação-e-reação. Outros não possuíam uma definição

operacional do conceito de tensões em cordas, levando aos mais variados erros, grande parte destes já registrada em trabalhos anteriores [McDermott, 1994]. Levando em conta estas e outras observações, os tutoriais foram projetados para ajudá-los a sanar as dúvidas comumente observadas.

A partir dessas observações, foi elaborada a proposta de intervenção no projeto de apoio pedagógico relatada na dissertação, que ocorreu durante o primeiro período de 2016.

#### **Referências mencionadas no texto:**

[McDermott et al., 1987] Lillian C. McDermott, Mark L. Resenquist e Emily H. van Zee. Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, vol. 55, n. 6, p. 503, 1987.

[McDermott, 1994] Lillian C. McDermott. Research as a guide for teaching introductory mechanics: An illustration in the context of the Atwood's machine. *American Journal of Physics*, vol. 62, n. 1, p. 46, 1994.

## **Apêndice II**

### **Tutoriais**

Esta seção tem como objetivo apresentar os tutoriais elaborados para cada unidade de trabalho em sua versão final, tal como foram utilizados em sala de aula durante o primeiro semestre do ano de 2016. As unidades encontram-se numeradas de 1 a 5, e suas atividades foram enumeradas obedecendo uma ordem sequencial crescente.

Para uma melhor compreensão dos objetivos de cada atividade, aconselha-se observar as informações situadas no Guia do Professor – Apêndice III, onde são detalhadas as dificuldades abordadas por cada tutorial, estratégias utilizadas em seu desenvolvimento, eventuais respostas e/ou conclusões desejáveis por parte dos alunos, além da referência bibliográfica que sustenta seu uso.

Além disso, ao abordar determinado tema, não há a obrigatoriedade em utilizar todos os tutoriais da unidade. A seleção das atividades que melhor se enquadram às necessidades específicas de cada turma fica a cargo do professor, podendo escolher também o melhor momento para empregá-las.

Por fim, as listas não têm a intenção de esgotar todos os possíveis conflitos enfrentados pelos alunos em cada tema em específico. Assim sendo, abordam as dificuldades que mais se fazem notar tanto nas referências bibliográficas citadas, quanto na observação do desempenho dos alunos em sala de aula, sendo neste último caso tal fato indicado na descrição do exercício no Apêndice III.

## Unidade 1. Vetores

1 – Um avião, partindo de Salvador, voa até Teresina. Logo após segue viagem para Fortaleza. Represente no mapa a seguir os deslocamentos do avião, identificando-os da seguinte forma:

$$\vec{d}_1 = \text{deslocamento Salvador} \rightarrow \text{Teresina}$$

$$\vec{d}_2 = \text{deslocamento Teresina} \rightarrow \text{Fortaleza}$$

Represente no mesmo mapa o deslocamento resultante ( $\vec{d}_r$ ); ou seja, aquele que teria o mesmo efeito que  $\vec{d}_1$  e  $\vec{d}_2$  combinados.

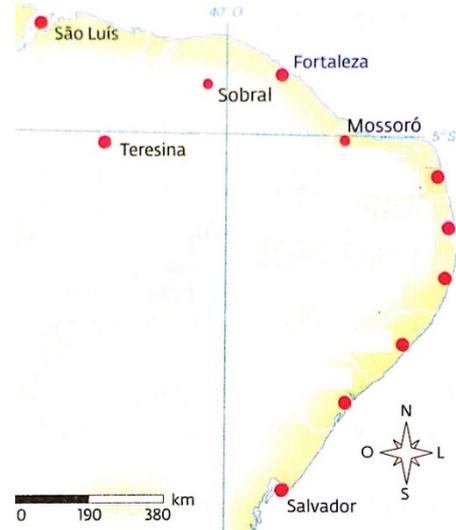
Por intuição, podemos afirmar que:

A  $\vec{d}_1 = \vec{d}_2 = \vec{d}_r$

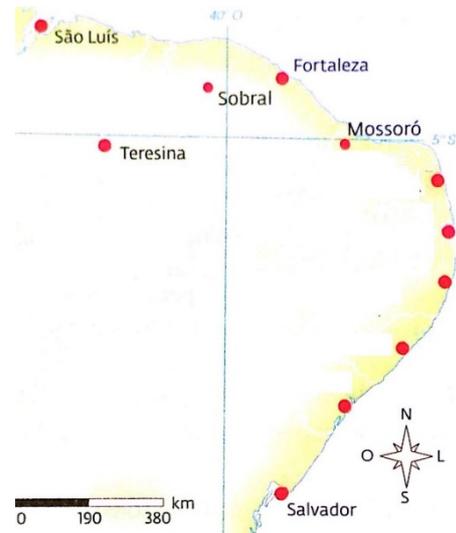
B  $\vec{d}_1 - \vec{d}_2 = \vec{d}_r$

C  $\vec{d}_1 + \vec{d}_2 = \vec{d}_r$

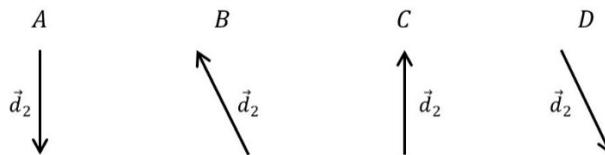
D Nenhuma das anteriores



2 – Suponha agora que o mesmo avião parte de Salvador e voa até São Luís ( $\vec{d}_1$ ). No entanto, a viagem tinha como destino a cidade de Teresina ( $\vec{d}_r$ ). Represente  $\vec{d}_1$  e  $\vec{d}_r$  no mapa a seguir.



Considerando que, após pousar em São Luís, o piloto seguiu direto para seu destino, podemos afirmar que o segundo deslocamento  $\vec{d}_2$  se deu da seguinte forma:



Nesta situação, julgue as proposições “Verdadeiras” (V) ou “Falsas” (F). Corrija as proposições falsas, justificando brevemente seu raciocínio.

A  $\vec{d}_1 = \vec{d}_r + \vec{d}_2$

D  $\vec{d}_r = \vec{d}_1 + \vec{d}_2$

B  $\vec{d}_r = \vec{d}_2 - \vec{d}_1$

E  $\vec{d}_r = \vec{d}_1 - \vec{d}_2$

C  $\vec{d}_2 = \vec{d}_r - \vec{d}_1$

3 – Na semana seguinte, o mesmo piloto fez o seguinte trajeto:

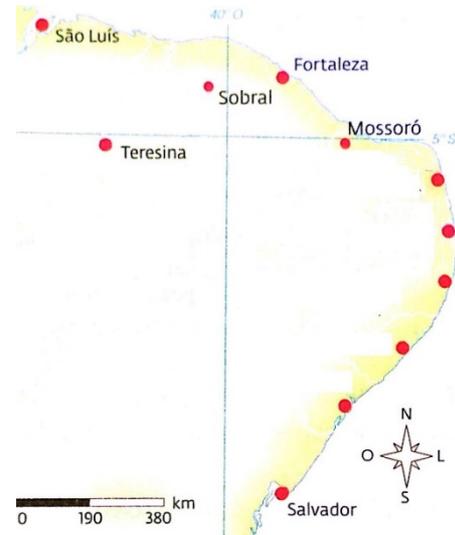
$$\vec{d}_1 = \text{Salvador} \rightarrow \text{Mossoró}$$

$$\vec{d}_2 = \text{Mossoró} \rightarrow \text{Fortaleza}$$

$$\vec{d}_3 = \text{Fortaleza} \rightarrow \text{Sobral}$$

$$\vec{d}_4 = \text{Sobral} \rightarrow \text{São Luís}$$

$$\vec{d}_5 = \text{São Luís} \rightarrow \text{Teresina}$$



Represente no mapa a seguir os trajetos descritos.

No mesmo mapa, represente o deslocamento resultante ( $\vec{d}_r$ ) do piloto.

Suponha que o piloto, após chegar em Teresina, deseja voltar a Salvador.

Represente no mapa o deslocamento ( $\vec{d}_6$ ) que o piloto deverá realizar.

Tendo em vista esta nova situação, julgue as proposições “Verdadeiras” (V) ou “Falsas” (F). Corrija as proposições falsas, justificando brevemente seu raciocínio.

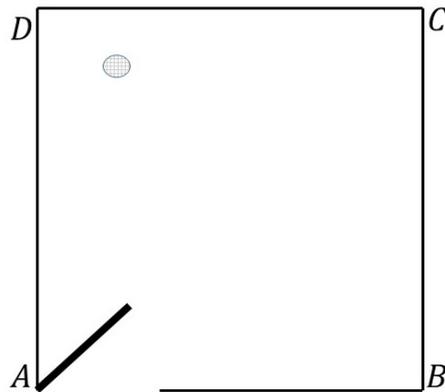
A  $\vec{d}_6 = \vec{d}_r$

C  $\vec{d}_r = \vec{d}_1 + \vec{d}_2 + \vec{d}_3 + \vec{d}_4 + \vec{d}_5$

B  $\vec{d}_6 = -\vec{d}_r$

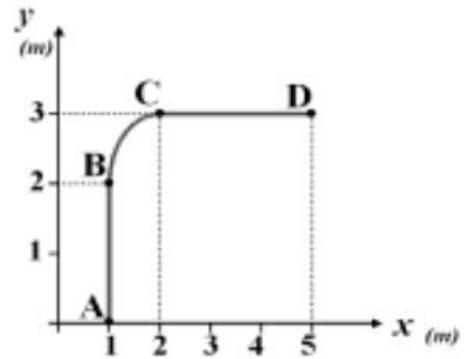
D  $\vec{d}_6 = \vec{d}_1 + \vec{d}_2 + \vec{d}_3 + \vec{d}_4 + \vec{d}_5$

4 – Na figura ao lado está representada, vista do alto, uma sala quadrada de paredes com 5 metros de comprimento. Você entra na sala pela porta, em A, e anda ao longo da parede AB por 4 metros, até o ponto P, e depois paralelamente à parede BC por mais 3 metros, até o ponto Q.



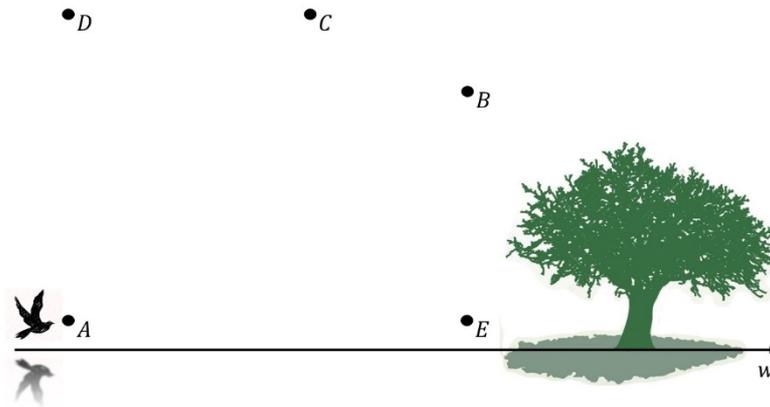
- (i) Represente graficamente estes deslocamentos, e marque na figura os pontos P e Q. Qual a distância que você percorreu? A que distância do ponto de partida você chegou?
- (ii) Estabeleça um sistema de coordenadas  $(x,y)$  com origem no ponto A, eixo  $x$  ao longo da parede AB e eixo  $y$  ao longo da parede AD. Escreva as coordenadas  $(x,y)$  dos pontos P, Q, A, B, C e D.
- (iii) Quanto vale o cosseno do ângulo que a direção AQ faz com a direção AB? E o seno deste ângulo?

5 – O gráfico a seguir refere-se ao movimento de um carro que se move indo do ponto A ao ponto D.



- (i) Qual grandeza física está representada no eixo das abscissas (horizontal)? Qual está representada no eixo das ordenadas (vertical)?
- (ii) O gráfico ao lado representa o caminho percorrido pelo carro? Justifique brevemente sua resposta.
- (iii) Represente as coordenadas  $(x,y)$  dos pontos A, B, C e D da trajetória percorrida.
- (iv) Escreva, em termos dos vetores unitários  $\hat{i}$  e  $\hat{j}$  das direções  $x$  e  $y$  e das componentes dos vetores ao longo destes eixos, os vetores que representam as posições em relação ao ponto O dos pontos A, B, C e D.
- (v) Represente, em termos destes unitários, os vetores deslocamento entre A e B, entre B e C, entre C e D e entre A e D.
- (vi) Escreva o vetor deslocamento que representa a volta de D para A. Como este vetor se relaciona com aquele que representa o deslocamento de A para D?

6 – Em um dia ensolarado, quando os raios solares incidiam perpendicularmente ao chão, um pássaro adestrado efetua quatro deslocamentos sucessivos: do ponto A ao ponto B ( $\overrightarrow{AB}$ ), do ponto A ao C ( $\overrightarrow{AC}$ ), do ponto A ao D ( $\overrightarrow{AD}$ ) e do ponto A ao E ( $\overrightarrow{AE}$ ), conforme a figura abaixo.



(i) Represente na figura acima os deslocamentos  $\overrightarrow{AB}$ ,  $\overrightarrow{AC}$ ,  $\overrightarrow{AD}$  e  $\overrightarrow{AE}$ .

Ao executar o deslocamento  $\overrightarrow{AB}$ , a sombra do pássaro no chão (eixo  $w$ ) descreverá a *projeção*  $\overrightarrow{AB}_w$  deste deslocamento sobre o eixo  $w$  indicado. Analogamente,  $\overrightarrow{AC}_w$ ,  $\overrightarrow{AD}_w$  e  $\overrightarrow{AE}_w$  serão as *projeções* de  $\overrightarrow{AC}$ ,  $\overrightarrow{AD}$  e  $\overrightarrow{AE}$ , respectivamente.

(ii) Represente na figura cada projeção citada acima (não as sobreponha).

(iii) Julgue cada proposição como verdadeira (V) ou falsa (F). Corrija as que forem falsas.

a.  $|\overrightarrow{AB}| > |\overrightarrow{AE}|$

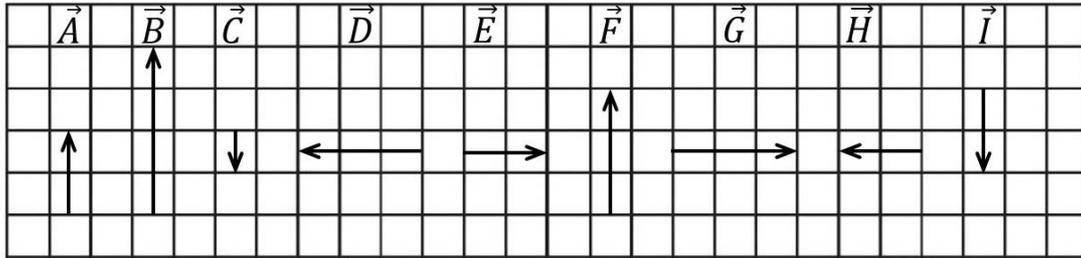
b.  $|\overrightarrow{AB}_w| > |\overrightarrow{AE}_w|$

c.  $|\overrightarrow{AC}_w| < |\overrightarrow{AE}_w|$

d.  $\overrightarrow{AD}_w > \vec{0}$

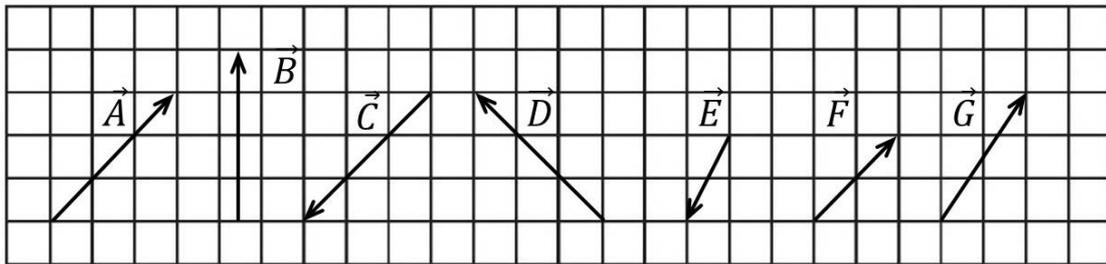
e.  $|\overrightarrow{AD}| = 0$

7 – Observe os vetores representados graficamente abaixo. Indique **todos** os vetores que possuem a mesma **magnitude** (módulo). Por exemplo, se os vetores  $\vec{w}$  e  $\vec{x}$  possuem o mesmo módulo, escreva  $|\vec{w}| = |\vec{x}|$ . Bem como se os vetores  $\vec{a}$ ,  $\vec{s}$  e  $\vec{r}$  possuem o mesmo módulo (diferente de  $\vec{w}$  e  $\vec{x}$ ) escreva  $|\vec{a}| = |\vec{s}| = |\vec{r}|$ .

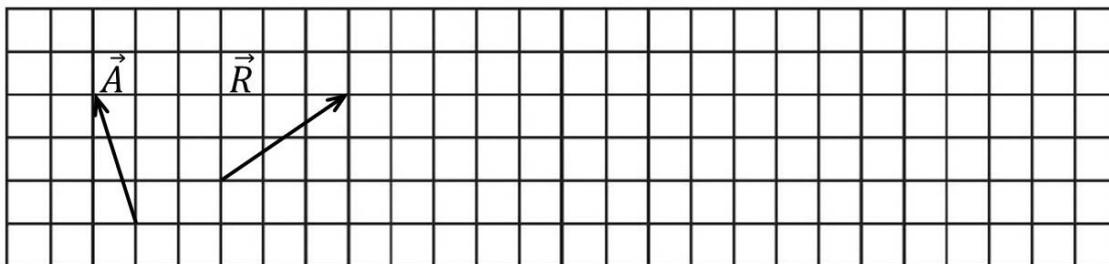


Resposta:

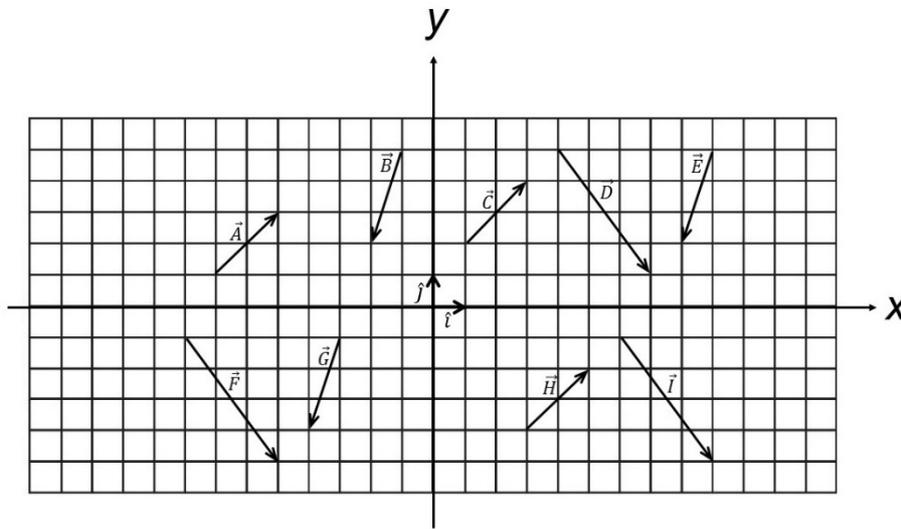
8 – Indique todos os vetores que possuem a mesma **direção** que o vetor  $\vec{A}$ , conforme figura abaixo. Comente brevemente seu raciocínio.



9 – Na figura abaixo, o vetor  $\vec{R}$  é mostrado como o **vetor resultante** da soma dos vetores  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$ . O vetor  $\vec{A}$  é dado. Encontre o vetor  $\vec{B}$  que, quando somado a  $\vec{A}$ , produzirá  $\vec{R}$ . Indique-o claramente na figura a seguir. *Dica: Não tente encontrar  $\vec{B}$  através de tentativas!!! Utilize um raciocínio plausível para encontrá-lo.*

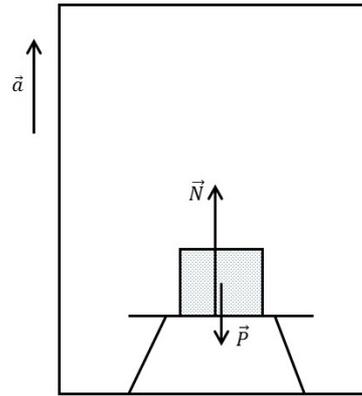


10 – Dados os seguintes vetores deslocamento representados, efetue as operações indicadas.



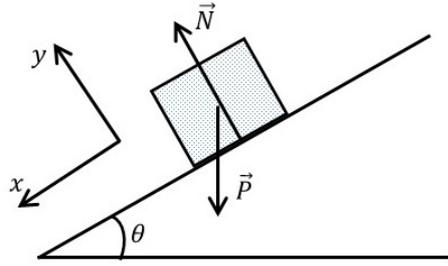
- (i) Escreva, em termos dos vetores unitários  $\hat{i}$  e  $\hat{j}$  das direções  $x$  e  $y$  e das componentes dos vetores ao longo destes eixos, todos os deslocamentos representados. Que conclusão você obtém analisando os deslocamentos  $\vec{A}$ ,  $\vec{C}$  e  $\vec{H}$  conjuntamente? Há outros deslocamentos que se comportam da mesma forma que os anteriores?
- (ii) Utilizando os vetores expressos em termos dos unitários (item anterior), efetue:
- $\vec{A} + \vec{B}$
  - $\vec{H} - \vec{i}$
  - $\vec{E} \cdot \vec{D}$
  - $\vec{C} - \vec{F}$
- (iii) Efetue as mesmas operações indicadas do item anterior graficamente no plano cartesiano dado acima. Compare os vetores obtidos graficamente com suas respostas ao item anterior.
- (iv) Quanto vale o seno do ângulo que o vetor  $\vec{H}$  faz com o eixo  $y$ ? E o cosseno deste ângulo? Através destes valores obtidos, quanto vale tal ângulo?

11 – A figura a seguir representa um bloco de massa  $m$  em repouso sobre uma mesa. A mesa está fixa em um elevador acelerado verticalmente para cima. Sobre o bloco atuam as forças normal de contato  $\vec{N}$  e peso  $\vec{P}$ . Indique quais afirmativas são falsas, justificando suas respostas.



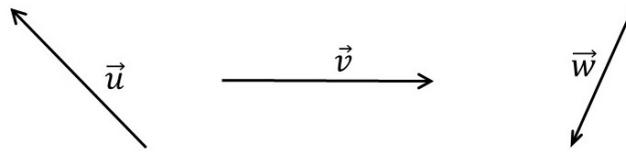
- (i) A força resultante sobre o bloco é  $\vec{R} = \vec{N} - \vec{P}$ .
- (ii) A força resultante sobre o bloco é  $\vec{R} = \vec{N} \perp \vec{P}$ .
- (iii) O módulo da força resultante sobre o bloco é  $R = N - P$ .
- (iv) O módulo da força resultante sobre o bloco é  $R = N + P$ .
- (v) A força resultante sobre o bloco é nula.
- (vi) A projeção da força resultante sobre o bloco na direção do eixo  $y$  é  $\vec{R}_y = \vec{N}_y - \vec{P}_y$ .
- (vii) A projeção da força resultante sobre o bloco na direção do eixo  $y$  é  $\vec{R}_y = \vec{N}_y + \vec{P}_y$ .
- (viii) A componente da força resultante sobre o bloco na direção do eixo  $y$  é  $R_y = N_y - P_y$ .
- (ix) A componente da força resultante sobre o bloco na direção do eixo  $y$  é  $R_y = N - P$ .

12 – A figura ao lado representa um bloco de massa  $m$  sobre um plano inclinado liso que forma um ângulo  $\theta$  com a horizontal. Sobre o bloco atuam as forças normal de contato  $\vec{N}$  e peso  $\vec{P}$ . Indique quais afirmativas são falsas, justificando suas respostas.



- (i) A força resultante sobre o bloco é  $\vec{R} = \vec{N} - \vec{P}$ .
- (ii) A força resultante sobre o bloco é  $\vec{R} = \vec{N} + \vec{P}$ .
- (iii) O módulo da força resultante sobre o bloco é  $R = N - P$ .
- (iv) O módulo da força resultante sobre o bloco é  $R = N + P$ .
- (v) A componente da força resultante sobre o bloco na direção do eixo  $y$  é  $R_y = N_y - P_y$ .
- (vi) A componente da força resultante sobre o bloco na direção do eixo  $y$  é  $R_y = N_y + P_y$ .
- (vii) A componente da força peso na direção  $x$  é  $P \sin \theta$ .
- (viii) O vetor normal é  $\vec{N} = -P \cos \theta$ .
- (ix) O vetor normal é  $\vec{N} = P \cos \theta$ .
- (x) O vetor normal é  $\vec{N} = \vec{P} \cos \theta$ .
- (xi) O vetor força resultante sobre o bloco é nulo.

13 – Dados os vetores a seguir, conduza as operações indicadas.

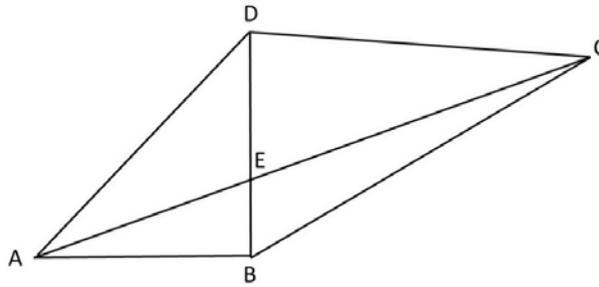


- (i)  $\vec{u} + \vec{v}$
- (ii)  $\vec{v} + \vec{u}$
- (iii)  $(\vec{w} + \vec{v}) + \vec{w}$
- (iv)  $\vec{u} + (\vec{v} + \vec{w})$
- (v)  $\vec{u} - \vec{v}$
- (vi)  $\vec{v} - \vec{u}$

Baseado nos resultados obtidos, complete com "=" ou " $\neq$ ".

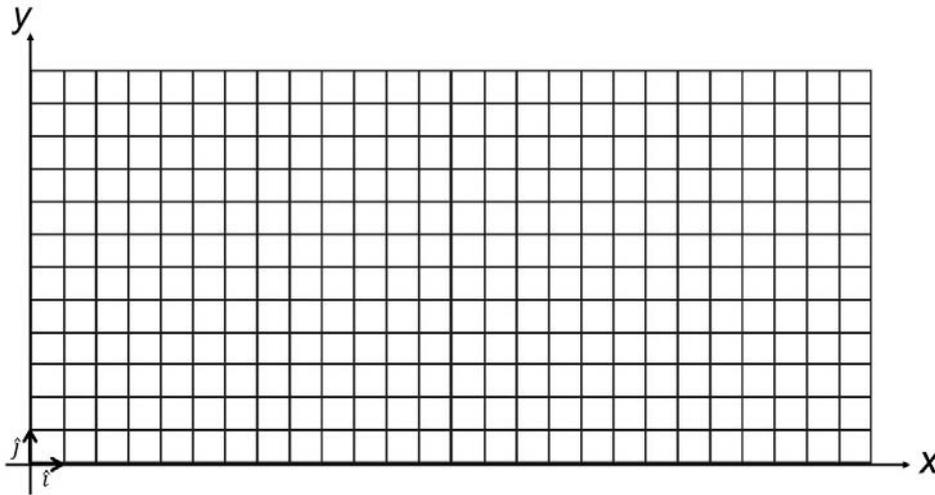
- (i)  $\vec{u} - \vec{v}$  \_\_\_\_\_  $\vec{v} - \vec{u}$
- (ii)  $\vec{u} + \vec{v}$  \_\_\_\_\_  $\vec{v} + \vec{u}$
- (iii)  $(\vec{u} + \vec{v}) + \vec{w}$  \_\_\_\_\_  $\vec{u} + (\vec{v} + \vec{w})$

14 – Observe a figura a seguir e indique claramente um vetor equivalente.



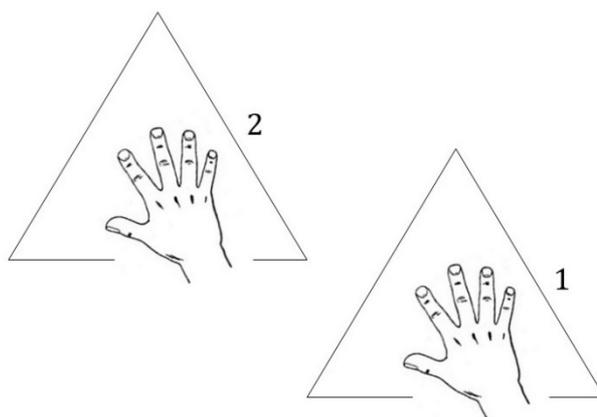
- (i)  $\overline{AB} \parallel \overline{BC}$
- (ii)  $\overline{AB} = \overline{AD}$
- (iii)  $\overline{AB} + \overline{CA}$
- (iv)  $\overline{CD} = \overline{ED}$

15 – No diagrama a seguir represente o vetor  $\vec{a} = -4\hat{i} + 4\hat{j}$ .



- (i) Encontre  $|\vec{a}|$ .
- (ii) Trace um vetor  $\vec{b}$  paralelo a  $\vec{a}$  e com módulo igual ao seu dobro, ou seja,  $\vec{b} = 2\vec{a}$ .
- (iii) Escreva  $\vec{b}$  em função dos vetores unitários  $\hat{i}$  e  $\hat{j}$ .
- (iv) Que relação se pode perceber entre as componentes do vetor  $\vec{b}$  em comparação com as do vetor  $\vec{a}$ ? Estendendo a qualquer vetor  $\vec{n}$ , o que significa, em termos de suas componentes, multiplicar o vetor  $\vec{n}$  por um escalar  $k$ ?

16 – A figura a seguir mostra um triângulo que sofreu uma translação no plano, sendo empurrado da configuração 1 para a 2.



Represente na figura acima os seguintes deslocamentos:

$\vec{a}$  → Deslocamento do dedo polegar

$\vec{b}$  → Deslocamento do dedo médio

$\vec{c}$  → Deslocamento da palma da mão

Baseado nestes deslocamentos, leia a seguinte afirmação e responda.

*Os deslocamentos  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  e  $\vec{c}$  não são equivalentes, pois embora possuam mesmo módulo, direção e sentido, estão aplicados a diferentes pontos do plano.*

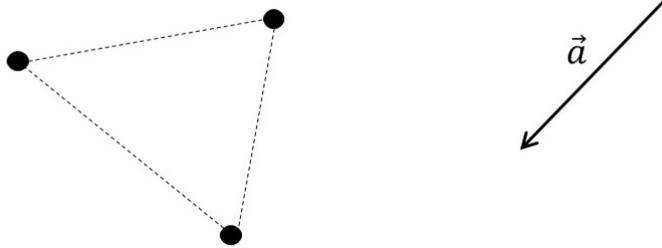
A afirmativa é:

A Verdadeira

B Falsa

C Nada podemos afirmar

17 – Os pontos marcados a seguir são os vértices de um triângulo. A cada um deles, aplique o deslocamento representado por  $\vec{a}$  e obtenha o triângulo final cujos vértices são os pontos trasladados.



*Analisando os triângulos inicial e final, conclui-se que o mesmo resultado teria sido obtido aplicando-se o deslocamento  $\vec{a}$  a qualquer conjunto fixo de pontos do triângulo.*

Esta afirmativa é:

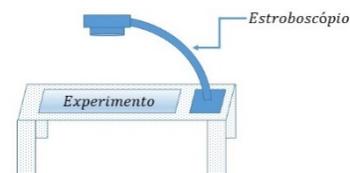
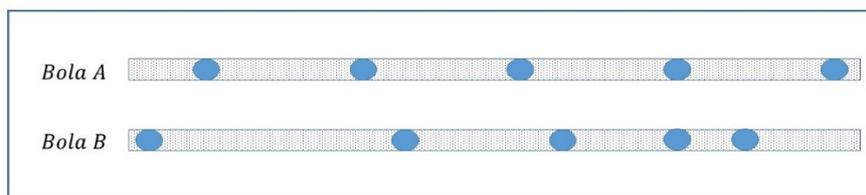
A Verdadeira

B Falsa

Reveja sua resposta do exercício anterior. Ela condiz com sua análise deste exercício? Caso necessário, corrija-a.

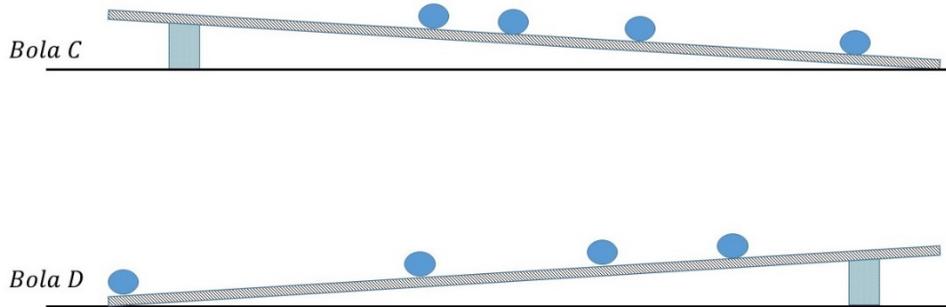
## Unidade 2. Cinemática Unidimensional

1 – Observe a figura a seguir. Nela está representada a visão de cima do movimento simultâneo das bolas A e B, que se deslocam sobre uma superfície plana da esquerda para a direita com velocidades iniciais de módulo  $v_A$  e  $v_B$ , respectivamente. É sabido que a velocidade inicial da bola B é maior que a da bola A. As posições sucessivas estão representadas da forma como seriam visualizadas em uma exposição de um estroboscópio, que é um aparelho que tira fotos em intervalos iguais de tempo e ao final apresenta uma única foto com a superposição de todas as fotos tiradas no processo.



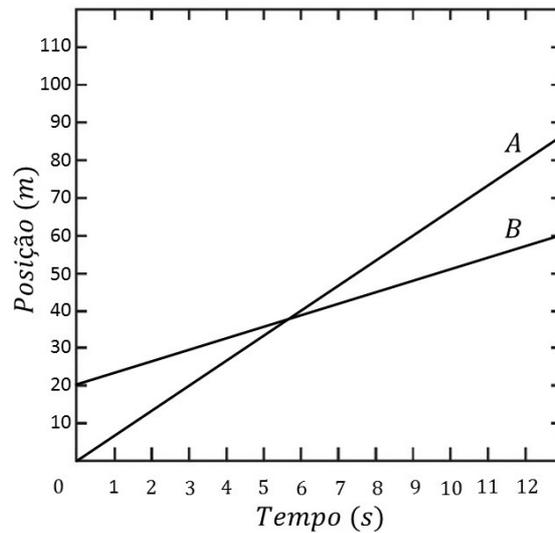
- (i) Observando a foto, o que você pode concluir sobre a velocidade da bola A? A velocidade é constante ou varia com o passar do tempo? É um movimento uniforme ou acelerado? Justifique brevemente explicando como você chegou a esta conclusão. Faça a mesma análise para a bola B.
- (ii) Em algum momento as bolas possuem a mesma posição? Se sim, indique na figura acima tal (tais) momento(s).
- (iii) Em algum momento as bolas se movem com a mesma velocidade? Se sim, indique na figura acima tal (tais) momento(s).
- (iv) Sabendo que o movimento se inicia em  $t = 0$  s, esboce *qualitativamente*, num mesmo gráfico posição x tempo ( $x \times t$ ), a função horária de ambas as bolas.
- (v) Sinalize no gráfico o(s) momento(s) quando as bolas possuem mesma posição e aqueles no(s) qual(is) possuem mesma velocidade.

2 – A figura a seguir representa a visão lateral de um novo experimento, também obtida com o auxílio de um estroboscópio. Ambas as bolas se movem sobre canaletas da esquerda para a direita. A bola C parte do repouso enquanto a bola D tem velocidade inicial  $v_0$ . Suas posições sucessivas estão representadas a seguir.



- (i) Observando a foto, o que você pode concluir sobre a velocidade da bola C? A velocidade é constante ou varia com o passar do tempo? É um movimento uniforme ou acelerado? Justifique brevemente sua conclusão evitando basear-se na posição da canaleta. Faça a mesma análise para a bola D.
- (ii) Em algum momento as bolas possuem a mesma posição? Se sim, indique na figura acima tal (tais) momento(s).
- (iii) Em algum momento as bolas se movem com a mesma velocidade? Se sim, indique na figura acima tal (tais) momento(s).
- (iv) Sabendo que o movimento se inicia em  $t = 0$  s, esboce *qualitativamente*, num mesmo gráfico posição x tempo ( $x \times t$ ), a função horária de ambas as bolas.
- (v) Sinalize no gráfico o(s) momento(s) quando as bolas possuem mesma posição e aqueles no(s) qual(is) possuem mesma velocidade.

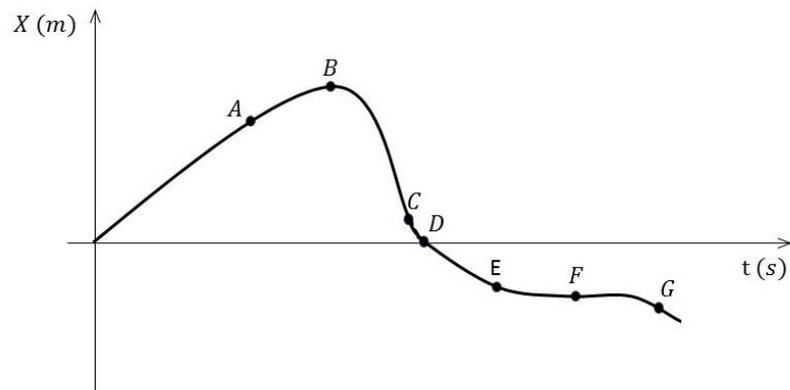
3 – O gráfico abaixo representa o movimento de duas bolas que se deslocam sobre canaletas paralelas. Responda:



- (i) No instante  $t = 2\text{ s}$  qual das bolas se movimenta mais rapidamente? Explique resumidamente seu raciocínio.
- (ii) Ainda no instante  $t = 2\text{ s}$ , a bola A se encontra a frente ou atrás da bola B? Explique brevemente seu raciocínio.
- (iii) Há algum momento onde ambas as bolas possuem a mesma velocidade? Se sim, em qual momento? Explique seu raciocínio.
- (iv) Há algum momento onde se observa uma ultrapassagem? Se sim, em qual momento? Explique seu raciocínio.

4 – No gráfico a seguir refere-se ao movimento unidimensional de determinado corpo.

Responda:



- (i) Qual grandeza física está representada no eixo das abscissas? Qual está representada no eixo das ordenadas?
- (ii) O que este gráfico representa? Ele representa o caminho seguido pelo corpo?
- (iii) Em qual(uais) ponto(s) o corpo se move para frente? Em qual(uais) se move para trás?
- (iv) Em qual(uais) ponto(s) o móvel possui a menor velocidade em módulo?
- (v) Em qual(uais) ponto(s) o muda o sentido do movimento?
- (vi) Em qual(uais) intervalo(s) está acelerando? Em qual(uais) está freando?

- (vii) Sendo  $\vec{v}_0$  a velocidade instantânea do móvel no instante inicial,  $\vec{v}_A$  a velocidade instantânea em A, etc. Lembrando que  $v_A = |\vec{v}_A|$  e que  $v_{Ax}$  é a componente  $x$  de  $\vec{v}_A$ , e assim sucessivamente, complete as lacunas na seguinte tabela com os símbolos “>” (maior que), “<” (menor que) ou “=” (igual).

Pontos	Velocidade
0	$v_{0x}$ _____ 0
A	$v_{Ax}$ _____ 0
B	$v_{Bx}$ _____ 0
C	$v_{Cx}$ _____ 0
D	$v_{Dx}$ _____ 0
E	$v_{Ex}$ _____ 0
F	$v_{Fx}$ _____ 0
G	$v_{Gx}$ _____ 0

Intervalos	$\Delta v$
0 – A	$v_{Ax} - v_{0x}$ _____ 0
A – B	$v_{Bx} - v_{Ax}$ _____ 0
B – C	$v_{Cx} - v_{Bx}$ _____ 0
C – D	$v_{Dx} - v_{Cx}$ _____ 0
D – E	$v_{Ex} - v_{Dx}$ _____ 0
E – F	$v_{Fx} - v_{Ex}$ _____ 0
F – G	$v_{Gx} - v_{Fx}$ _____ 0

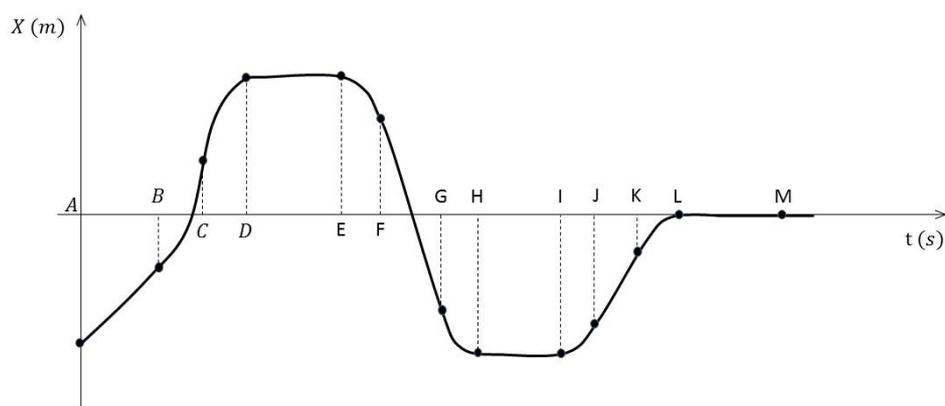
- (viii) Com base nas tabelas anteriores, confira suas respostas dos itens (i) ao (iv) e corrija-as caso necessário.
- (ix) Os dois argumentos a seguir foram dados pelos alunos A e B, respectivamente. Julgue se cada um é *verdadeiro* ou *falso*, citando exemplos do gráfico.

*Aluno A: “O corpo sempre se moverá para frente quando sua posição for positiva e se moverá para trás quando sua posição for negativa.”*

*Aluno B: “O corpo sempre se desloca cada vez mais rápido quando sua aceleração for positiva e cada vez mais devagar quando for negativa.”*

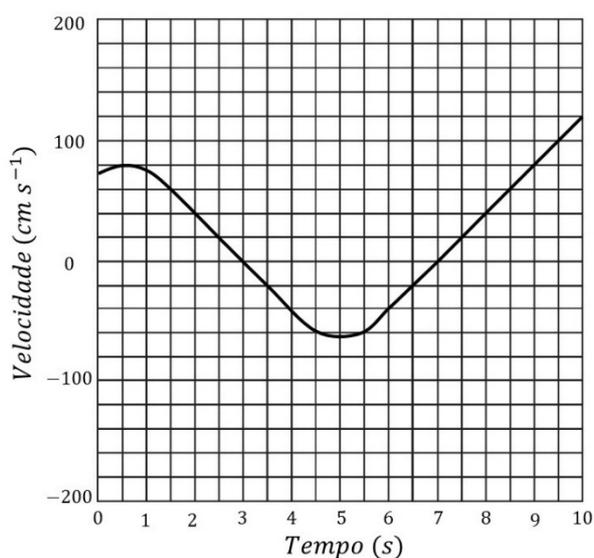
5 – No gráfico abaixo estão representados diversos instantes de tempo (A, B, C, D, etc.).

A partir deste gráfico posição x tempo plote os gráficos velocidade x tempo e aceleração x tempo deste movimento, destacando os instantes A até M.



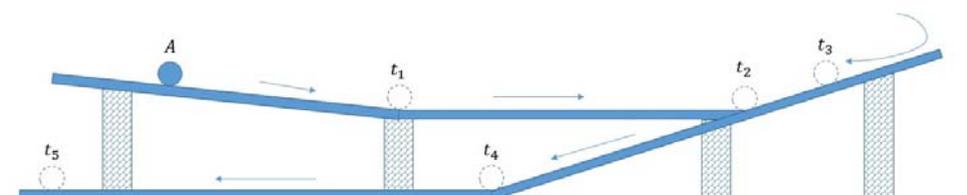
6 – O gráfico a seguir representa o movimento de um corpo que parte de

$x = 10 \text{ cm}$  quando  $t = 0 \text{ s}$ .



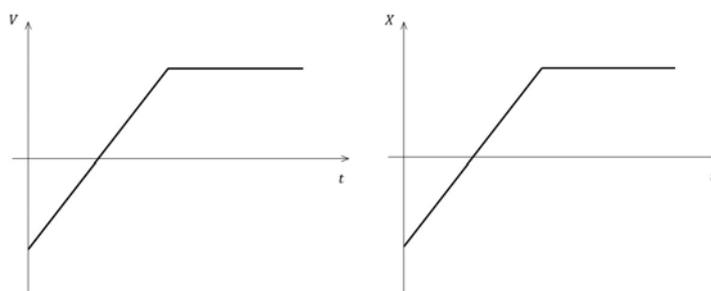
- (i) Em qual(ais) instante(s) de tempo o móvel está em repouso?
- (ii) Em qual(ais) instante(s) de tempo a aceleração do móvel é nula?
- (iii) Em qual(ais) instante(s) de tempo o móvel se encontra na posição  $x = 120 \text{ cm}$ ? Explique brevemente seu raciocínio.
- (iv) Em algum momento o móvel se encontra em  $x = 0 \text{ cm}$ ? Se sim, em qual momento? Explique brevemente seu raciocínio.

7 – A figura a seguir representa um aparato experimental realizado em laboratório. A bola parte do repouso do ponto A. Após isso, desce um plano levemente inclinado, chegando a uma superfície horizontal. Ao final de tal superfície, sobe um plano um pouco mais íngreme que o primeiro, onde chega ao repouso e tem a direção de seu movimento invertida. Após descer o segundo plano inclinado, continua indefinidamente sobre outra superfície horizontal.



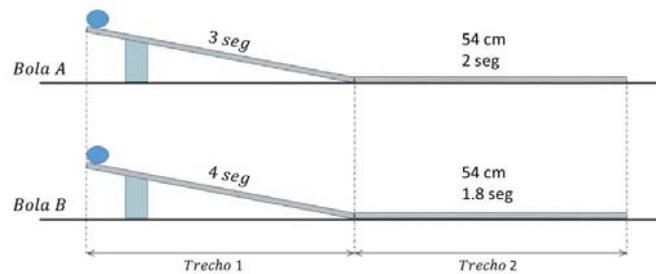
- (i) Esboce *qualitativamente* os gráficos velocidade x tempo e aceleração x tempo do movimento descrito pela bola, representando os instantes de tempo  $t_1$  a  $t_5$ .
- (ii) A partir do gráfico velocidade x tempo traçado no anterior, esboce *qualitativamente* o gráfico posição x tempo de tal movimento, também representando os instantes  $t_1$  a  $t_5$ .

8 – Os gráficos a seguir foram obtidos qualitativamente através da observação dos movimentos de uma bola em situações distintas.



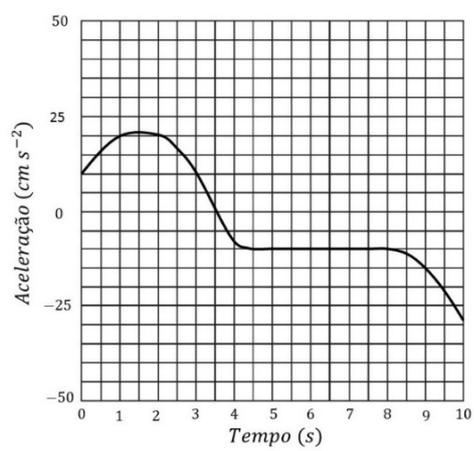
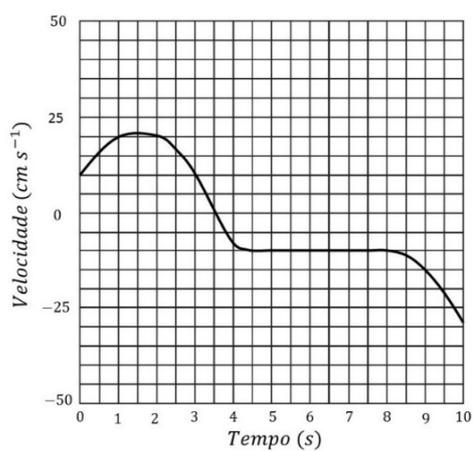
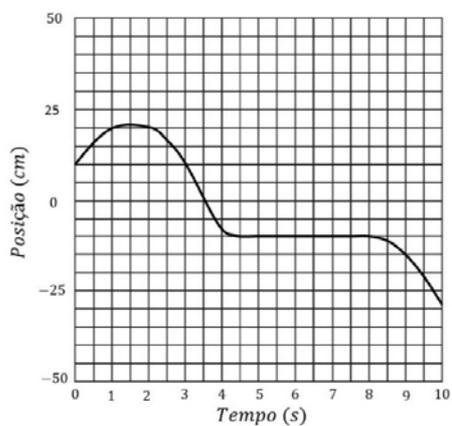
Sabendo que você dispõe de canaletas de tamanhos variados e diversos blocos de diferentes alturas, sugira a montagem de aparatos experimentais (vide exemplo no exercício anterior), levando em conta as condições iniciais da bola (posição e velocidade), que reproduzam os movimentos representados nos gráficos. OBS: Deve ser construído *um* aparato para *cada* gráfico.

9 – Na figura a seguir estão representados os movimentos de duas bolas que se movem sobre superfícies distintas, sendo cada superfície composta por um trecho inclinado (trecho 1) e um trecho horizontal (trecho 2). Para o trecho 1 é fornecido o intervalo de tempo que as bolas demoram para percorrê-lo. No trecho 2 são fornecidos tanto os intervalos de tempo que cada bola leva para percorrê-lo, quanto seus tamanhos. Sabe-se que ambas as bolas partem do repouso.



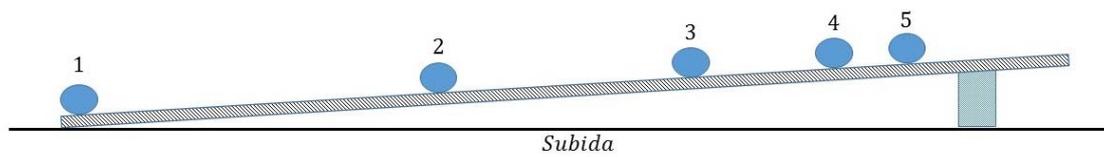
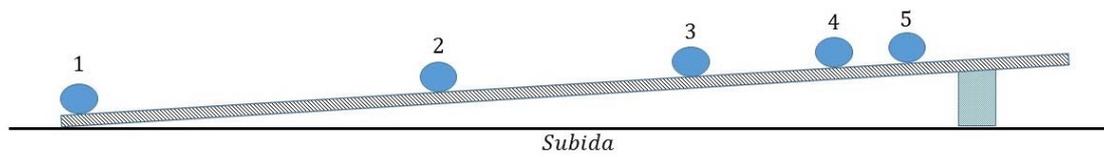
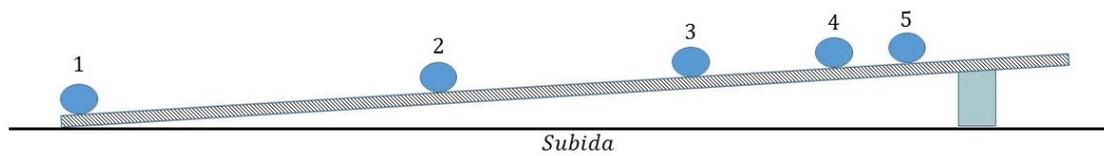
Baseado nestas informações, qual bola possui maior aceleração durante a descida do trecho 1? Justifique brevemente seu raciocínio.

10 – Observe os gráficos a seguir. Cada gráfico representa um movimento diferente. Em todos os casos, a velocidade inicial do móvel é  $10 \text{ cm/s}$ . Em cada caso, encontre a velocidade do móvel no instante  $t = 9 \text{ s}$ .



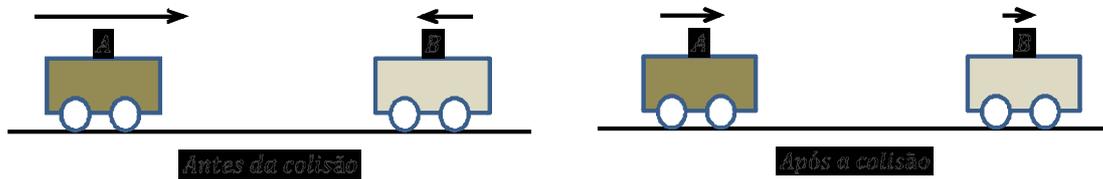
### Unidade 3. Cinemática Vetorial

1 – As figuras a seguir representam as sucessivas posições (figura estroboscópica) de uma bola que sobe uma canaleta inclinada em relação à horizontal, alcançando o repouso em sua última posição. As três figuras são iguais e foram propositalmente repetidas. Considere o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas como sendo igual a *duas* unidades de tempo.



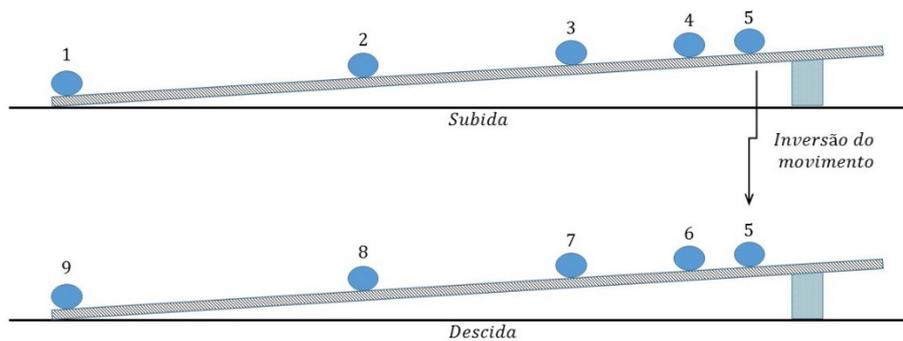
- (i) Na primeira figura, escolha um ponto arbitrário para ser a origem de seu sistema coordenado. Denomine-o  $O$  (origem).
- (ii) Para este sistema, identifique claramente os *vetores posição* ( $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3, \vec{r}_4$  e  $\vec{r}_5$ ).
- (iii) Represente, ainda na primeira figura, os *vetores deslocamento*, nomeando-os da seguinte forma:  $\Delta\vec{r}_{12}$  (deslocamento de  $\vec{r}_1$  a  $\vec{r}_2$ ),  $\Delta\vec{r}_{23}$  (deslocamento de  $\vec{r}_2$  a  $\vec{r}_3$ ), e assim sucessivamente.
- (iv) A partir dos vetores deslocamento representados no item anterior, como você encontraria a velocidade média entre as posições sucessivas? Levando em conta o exposto no enunciado da questão, represente *qualitativamente* na figura os vetores *velocidade média* entre as sucessivas posições.
- (v) Na segunda figura, escolha um outro ponto arbitrário para ser sua nova origem do sistema coordenado. Repita o procedimento descrito nos itens (ii) ao (iv).
- (vi) Quais grandezas físicas foram modificadas e quais permaneceram inalteradas devido à mudança de sistema de referência?
- (vii) Na terceira figura, escolha novamente um ponto arbitrário para a origem e represente o vetor *posição* da bola em seus *dois* primeiros instantes (instantes 1 e 2). Feito isso, desenhe a bola em um instante intermediário A entre as posições 1 e 2. Desenhe *qualitativamente* o vetor *velocidade média* entre os instantes 1 e A ( $\vec{v}_{1A}$ ).
- (viii) Imagine que o ponto A se aproxime do ponto 1 indefinidamente, até que se possa coloca-los tão próximos quanto se queira. Haverá alguma mudança na direção ou sentido do vetor *velocidade média* entre os instantes 1 e A ( $\vec{v}_{1A}$ )?
- (ix) Descreva a direção e o sentido do vetor *velocidade instantânea* da bola no instante 1 ( $\vec{v}_1$ ).
- (x) Que conclusão você tira sobre a direção do movimento e a direção do vetor *velocidade instantânea*?

2 – Dois carros (A e B) movimentam-se sobre uma mesa horizontal, indo um de encontro ao outro. Os vetores representam as velocidades de ambos exatamente antes e após ocorrer a colisão.



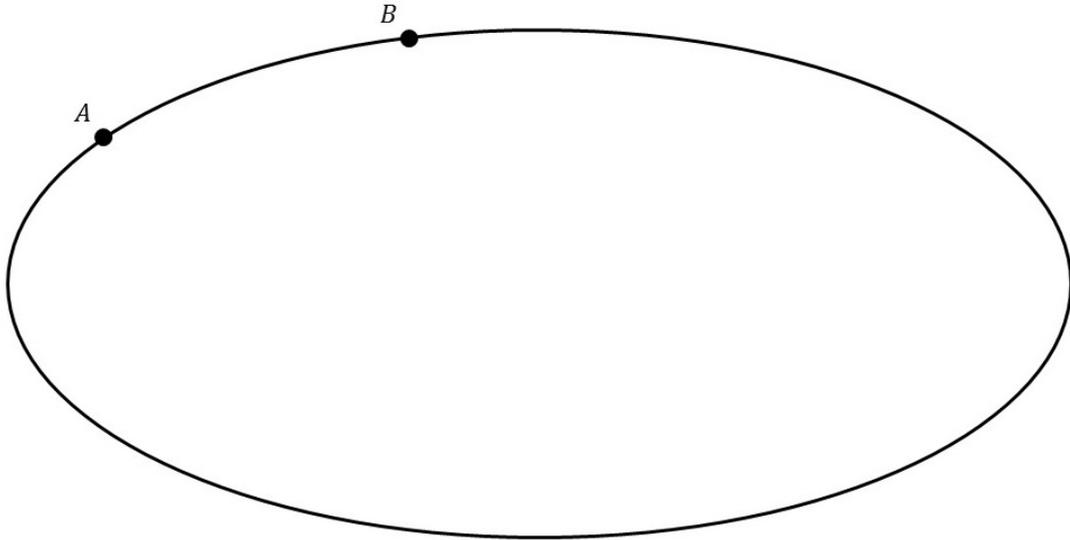
- (i) Para cada carro, represente o vetor *variação de velocidade*, nomeando-os  $\Delta\vec{v}_A$  e  $\Delta\vec{v}_B$  para A e B respectivamente. Faça representações condizentes com os vetores dados na figura acima.
- (ii) De que forma  $\Delta\vec{v}_A$  relaciona-se com a aceleração média do carro A no intervalo de tempo entre os dois instantes representados acima? E a relação entre  $\Delta\vec{v}_B$  e aceleração média do carro B?
- (iii) No intervalo de tempo considerado, o módulo da aceleração média de A é *maior*, *menor*, ou *igual* ao módulo da aceleração média de B? Explique brevemente seu raciocínio?

3 – Na figura a seguir está representado o movimento de uma bola que se desloca sobre uma canaleta inclinada em relação à horizontal. Estão representadas a subida e a descida da bola, bem como o ponto de inversão do movimento (onde a bola está momentaneamente em repouso).



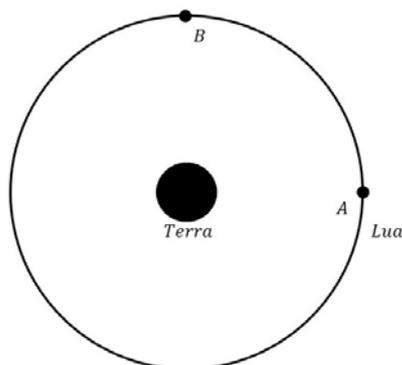
- (i) Esboce o vetor *velocidade instantânea* para cada instante representado, nomeando-os  $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$ , etc.
- (ii) Escolha arbitrariamente dois instantes sucessivos durante a *subida* e esboce a *variação de velocidade* ( $\Delta\vec{v}$ ) entre tais pontos. Como você encontraria o *vetor aceleração* durante a subida?
- (iii) Suponha que você tenha escolhido o ponto de repouso (instante 5) como um dos dois instantes. Qual a velocidade instantânea da bola neste instante? Isso mudaria de alguma forma o *vetor aceleração*? Justifique esboçando tal vetor.
- (iv) Repita o procedimento do item (ii) tomando dois instantes sucessivos durante a *descida*. Houve alguma mudança no *vetor aceleração*?

4 – Um carro se move sobre uma trajetória oval, da qual foram destacados dois instantes A e B. O movimento se dá no sentido horário (de A para B).



- (i) Escolha um ponto qualquer para ser a origem do seu sistema coordenado, denominando-o  $O$  (origem). Represente o vetor posição do móvel nos instantes A e B ( $\vec{r}_A$  e  $\vec{r}_B$ ), bem como o vetor deslocamento de A para B ( $\Delta\vec{r}_{AB}$ ).
- (ii) Descreva qualitativamente as características do vetor *velocidade média* do objeto entre A e B. Represente-o na figura acima.
- (iii) Escolha um ponto B' da trajetória que esteja compreendido entre A e B. Ao passo que o ponto B' se aproxima de A, há alguma alteração no vetor *velocidade média* entre A e B'. Se sim, qual alteração?
- (iv) Descreva como seria as características (direção e sentido) do vetor *velocidade instantânea* do móvel em A.
- (v) Generalizando o item anterior, como você caracterizaria o vetor *velocidade instantânea* em *qualquer* ponto da trajetória?

5 – A figura a seguir representa o movimento de translação da Lua ao redor da Terra. Sua trajetória é, com boa aproximação, circular e sua velocidade escalar é considerada *constante*. A Lua move-se em sentido anti-horário. Na figura estão representadas as posições da Lua com uma diferença de tempo de 7 dias (de A para B).



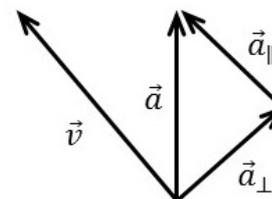
- (i) Represente na figura os vetores *velocidade instantânea* em A ( $\vec{v}_A$ ) e B ( $\vec{v}_B$ ).
- (ii) Esboce qualitativamente o vetor *variação de velocidade* da Lua para este intervalo de tempo. De que forma tal vetor se relaciona com o vetor *aceleração média* da Lua neste período? Quais são suas características (direção e sentido)? *Dica: Neste caso seria muito mais conveniente analisar os vetores em função de suas componentes tangencial (na direção do vetor unitário  $\hat{\theta}$ ) e radial (na direção do vetor unitário  $\hat{r}$ ), conhecidas como coordenadas polares.*
- (iii) Represente na figura um ponto B' situado entre A e B. Represente também seu vetor *velocidade instantânea* ( $\vec{v}_{B'}$ ). Imagine que o ponto B' se aproxime do ponto A indefinidamente, até que se possa coloca-los tão próximos quanto se queira. No limite quando B' se confundir com A, qual será o valor do ângulo limite entre  $\Delta\vec{v}_{AB'}$  e  $\vec{v}_A$ ? *Dica: Para ajudar a visualização, represente somente os vetores  $\vec{v}_A$ ,  $\vec{v}_{B'}$ , e  $\Delta\vec{v}_{AB'}$  partindo de um mesmo ponto em comum.*
- (iv) Tendo em vista a discussão do item anterior, a que conclusão você chega acerca das características (direção e sentido) do vetor *aceleração instantânea* no ponto A? Utilize novamente a notação de coordenadas polares para facilitar a descrição.

6 – A tabela a seguir indica os vetores velocidade e aceleração de determinado objeto em vários instantes.

	<i>Instante 1</i>	<i>Instante 2</i>	<i>Instante 3</i>	<i>Instante 4</i>
Velocidade				
Aceleração				

(i) Para cada instante, diga se o objeto está *acelerando*, *freando* ou *movendo-se com velocidade escalar constante*. Explique brevemente seu raciocínio para cada instante.

(ii) O diagrama ao lado ilustra como a aceleração no instante 2 pode ser decomposta em duas componentes: uma paralela ao vetor velocidade ( $\vec{a}_{\parallel}$ ) e outra perpendicular a tal vetor ( $\vec{a}_{\perp}$ ).

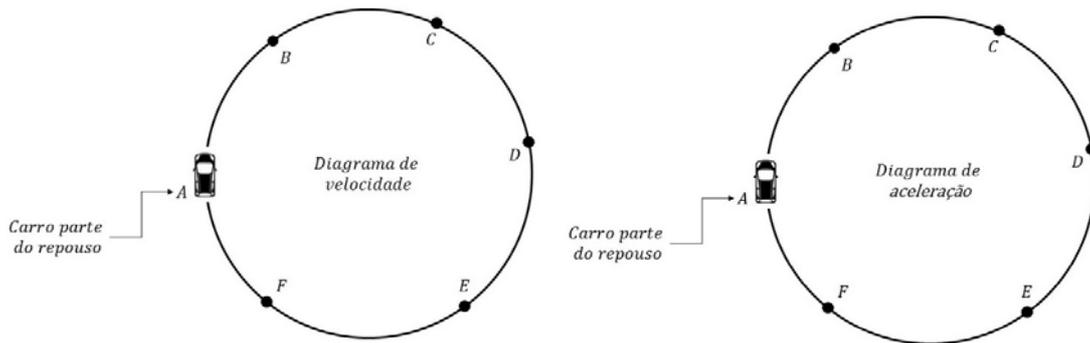


a. Para os outros casos (instantes 1, 3 e 4) faça um diagrama similar ao apresentado para o instante 2. Represente claramente as componentes do vetor aceleração (paralela e perpendicular) em relação ao vetor velocidade. Utilize a nomenclatura apresentada no diagrama para cada componente. Se alguma componente for nula, indique explicitamente.

(iii) Para cada um dos instantes (1 ao 4) compare sua descrição do movimento (item i) com as componentes da aceleração representadas (item ii). Sendo assim, responda:

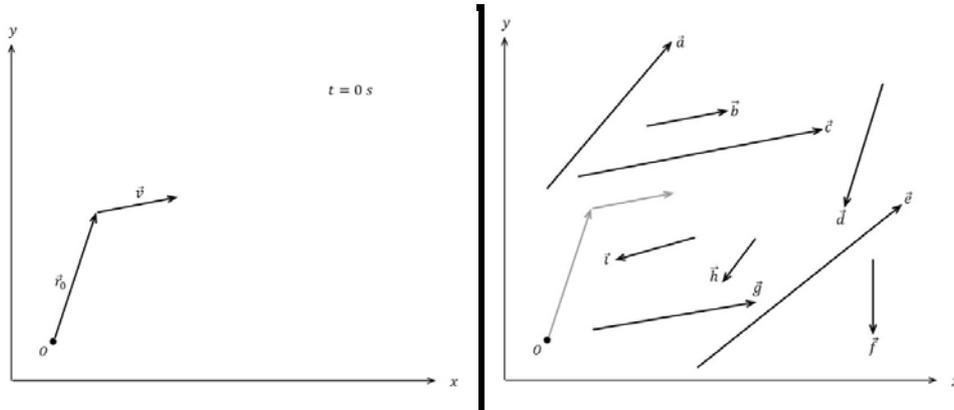
- De que forma a componente do vetor aceleração *paralela* ao vetor velocidade afeta o movimento?
- De que forma a componente do vetor aceleração *perpendicular* ao vetor velocidade afeta o movimento?

7 – Um carro se move em uma pista circular partindo do repouso (ponto A). O motorista acelera, fazendo com que o módulo de sua velocidade aumente uniformemente até o ponto B. Do ponto B ao C o carro se desloca com velocidade escalar uniforme. Após isso, mais uma vez acelera uniformemente até o ponto D, a partir do qual viaja com módulo da velocidade constante até E. De E até F o motorista aplica uma desaceleração uniforme, fazendo com que o carro chegue novamente ao repouso em F.



- (i) No *diagrama de velocidade* represente qualitativamente o vetor *velocidade instantânea* em cada um dos instantes considerados (A a F), levando em consideração a descrição do movimento no enunciado da questão.
- (ii) No *diagrama de aceleração* represente qualitativamente o vetor *aceleração instantânea* nos pontos médios entre cada par de instantes, bem como no instante inicial (A) e no instante imediatamente anterior ao final (F).
- (iii) Explique a forma como o aumento/diminuição do módulo da velocidade do carro está relacionado com a sua aceleração instantânea. *Dica: Utilize suas conclusões do exercício anterior, onde você pode decompor a aceleração em componentes paralela e perpendicular ao vetor velocidade.*

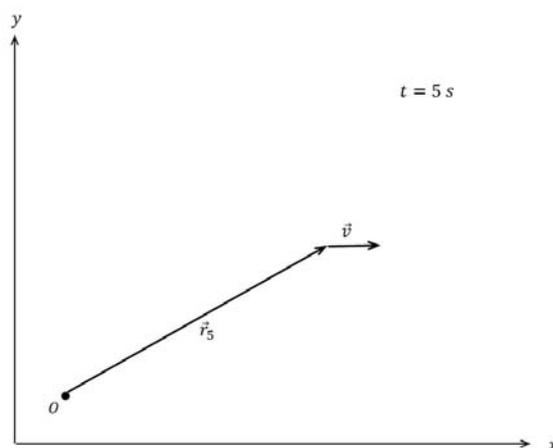
8 – Um objeto tem velocidade  $\vec{v}$  constante e, na figura à esquerda representa-se sua posição e velocidade no instante  $t = 0 \text{ s}$ .



Dentre os vetores representados na figura à direita, indique qual dos vetores pode representar:

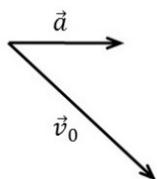
- (i) A posição do objeto em  $t = 1 \text{ s}$ .
- (ii) A posição do objeto em  $t = 2 \text{ s}$ .
- (iii) O deslocamento do objeto em  $t = 1 \text{ s}$ .
- (iv) O deslocamento do objeto em  $t = 2 \text{ s}$ .
- (v) O deslocamento do objeto em  $t = 3 \text{ s}$ .

9 – Na figura a seguir estão representados os vetores posição e velocidade de objeto no instante de tempo  $t = 5 \text{ s}$ . Se a velocidade deste objeto é constante, represente na figura onde o objeto estava ou estará nos instantes  $t = 0 \text{ s}$ ,  $t = 2 \text{ s}$ ,  $t = 4 \text{ s}$  e  $t = 6 \text{ s}$ . Esboce na figura a trajetória descrita pelo objeto.



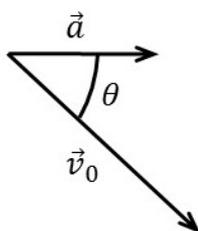
10 – A figura abaixo representa a *velocidade instantânea* inicial de um objeto, bem como sua aceleração, que permanece *constante* durante todo o movimento. Esboce na figura o vetor *velocidade instantânea* do objeto:

- (i) Após 1 segundo ( $\vec{v}_1$ ).
- (ii) Após 2 segundos ( $\vec{v}_2$ ).
- (iii) Após 5 segundos ( $\vec{v}_5$ ).

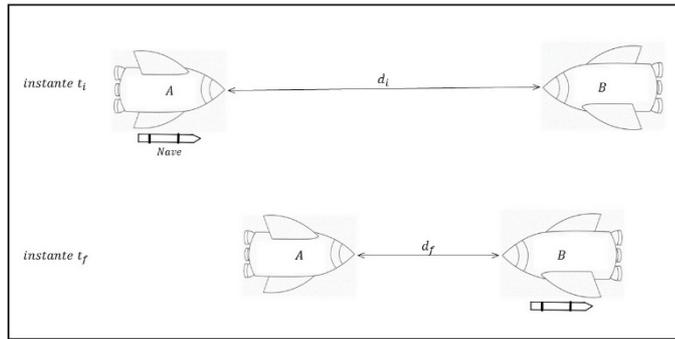


- (iv) Baseado nos itens anteriores, qual será o formato da trajetória seguida pelo objeto? Justifique sua resposta. *Dica: Adote um sistema coordenado conveniente e escreva as equações do movimento na forma vetorial e também na forma de suas componentes.*

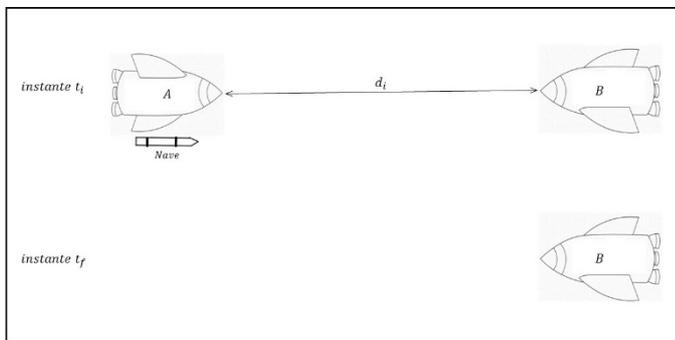
11 – Na figura abaixo estão representadas as condições iniciais (velocidade instantânea inicial e aceleração) de determinado objeto. No entanto, diferentemente do exercício anterior, o vetor aceleração não tem sua direção e sentido constantes (o módulo continua constante). Neste novo caso, o parâmetro que se mantém constante é o ângulo  $\theta$  entre os vetores velocidade e aceleração. Baseado nestas informações, descreva a nova trajetória descrita pelo objeto. *Dica: Neste caso, uma nova escolha de eixos coordenados será mais conveniente para a análise do problema. Escreva as equações de movimento na forma vetorial e em função de suas componentes.*



12 – Duas espaçonaves A e B movem-se em sentidos opostos, conforme ilustrado pela figura. No instante  $t_i$ , a espaçonave A lança uma nave menor em direção a B. No instante  $t_f$ , a pequena nave chega a B.



(i) O diagrama ao lado mostra as posições das espaçonaves A e B, bem como da nave menor no instante  $t_i$ , conforme vistos no referencial



da nave B. Represente a espaçonave A e a nave menor no instante  $t_f$ , vistos no referencial da nave B. Dica: Lembre-se que a nave B, em relação a seu referencial, encontra-se sempre em repouso.

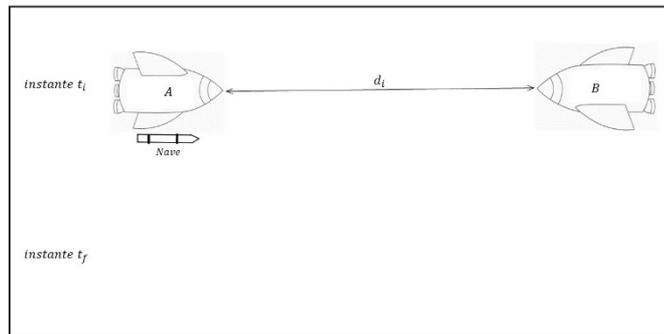
(ii) No espaço ao lado, represente e identifique os seguintes vetores:



- $\vec{r}_{N,B}^i$  (posição inicial da nave menor no referencial de B);
- $\vec{r}_{N,B}^f$  (posição final da nave menor no referencial de B);
- $\Delta\vec{r}_{N,B}$  (deslocamento da nave menor no referencial de B).

(iii) Tendo encontrado  $\Delta\vec{r}_{N,B}$ , descreva como utilizar tal grandeza para encontrar a velocidade da nave menor no referencial de B.

- (iv) No diagrama ao lado, complete com A, B e a nave pequena no instante  $t_i$ , conforme vistos do referencial de A.



- (v) No espaço ao lado, represente e identifique os seguintes vetores:



- $\vec{r}_{N,A}^i$  (posição inicial da nave menor no referencial de A);
- $\vec{r}_{N,A}^f$  (posição final da nave menor no referencial de A);
- $\Delta\vec{r}_{N,A}$  (deslocamento da nave menor no referencial de A).

- (vi) O módulo da velocidade da nave pequena no referencial de A é maior, menor ou igual ao módulo da velocidade de tal nave no referencial de B? Explique brevemente seu raciocínio.

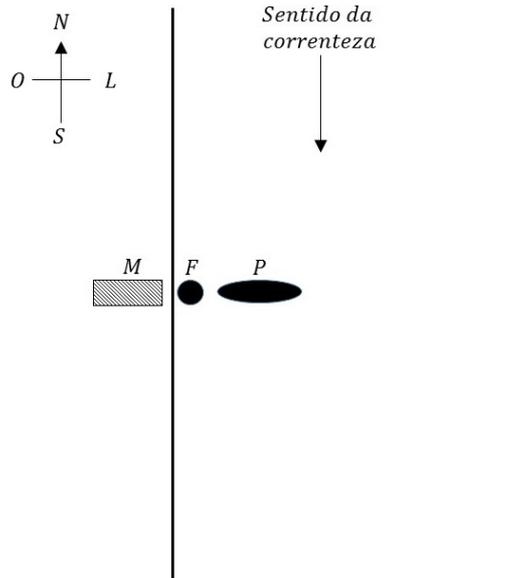


- (iv) Durante um pequeno intervalo de tempo  $\Delta t$  contendo o instante 2, o carro está se movendo ao *Norte*, ao *Sul*, ou está *em repouso* no referencial do *caminhão*? Explique brevemente.
- (v) No espaço abaixo represente:

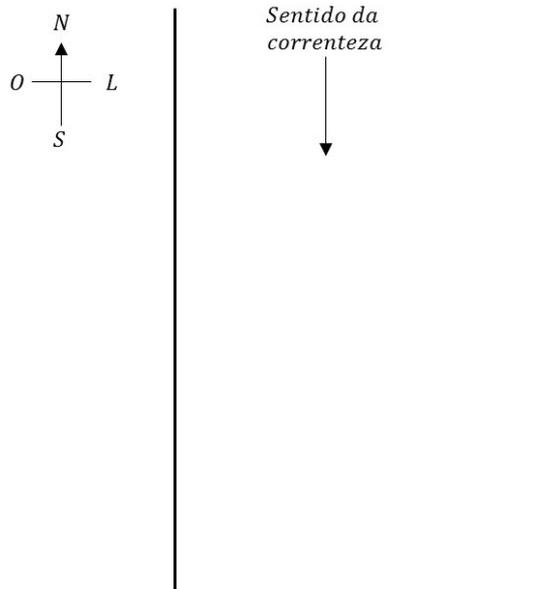


- a. Vetor deslocamento do carro *no referencial do cone* e *no referencial do caminhão*, no intervalo do instante 1 ao 3.
- b. Vetor deslocamento do caminhão *no referencial do cone*, no intervalo do instante 1 ao 3.
- (vi) Faça um diagrama de vetores para mostrar qual destes três vetores deslocamento é a soma dos outros dois.
- (vii) Expresse a relação entre os três vetores como uma equação vetorial algébrica. Use  $\Delta \vec{r}_{\text{Carro, Cone}}$  para representar o vetor deslocamento do carro no referencial do cone,  $\Delta \vec{r}_{\text{Carro, Caminhão}}$  para denotar o vetor deslocamento do carro no referencial do caminhão, etc.
- (viii) A partir da expressão escrita no item anterior, encontre a expressão que relaciona as *velocidades relativas* neste intervalo de tempo (instantes 1 ao 3), conhecida como *transformação galileana de velocidades*.

14 – Em um dia de verão, uma família decide aproveitar o clima quente às margens de um rio que passa perto de sua residência. A mãe bronzeia-se na cadeira de praia (M). O filho (F) relaxa em sua boia, deixando ser levado pela correnteza. O pai (P) liga o motor de seu barco que funciona em um ritmo constante e direciona-o sempre rumo à leste. A figura ao lado representa a posição de cada membro da família num instante inicial.



(i) Represente na figura ao lado a posição de cada pessoa da família no instante final, ou seja, quando o pai finalmente atinge a outra margem do rio.

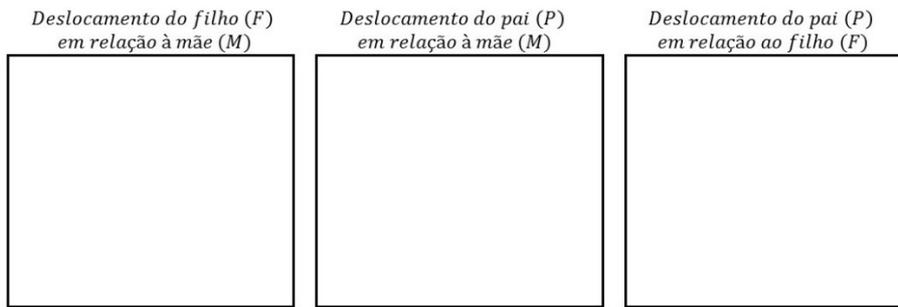


(ii) Nos espaços abaixo, represente os vetores deslocamento, nomeando-os da seguinte forma:

$\Delta \vec{r}_{F,M}$  – Deslocamento do filho (F) em relação à mãe (M).

$\Delta \vec{r}_{P,M}$  – Deslocamento do pai (P) em relação à mãe (M).

$\Delta \vec{r}_{P,F}$  – Deslocamento do pai (P) em relação ao filho (F).



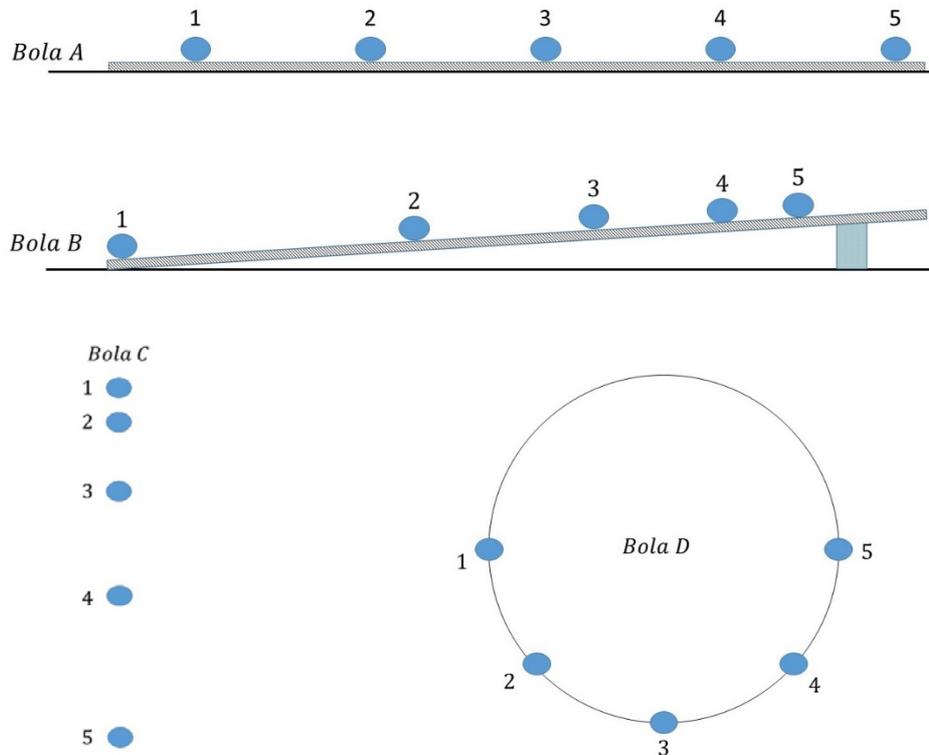
- (iii) No espaço abaixo, represente os três vetores deslocamento esboçados acima, nomeando-os conforme descrito, indicando qual dos deslocamentos representa a soma dos outros dois.



- (iv) Expresse a relação entre os três vetores como uma equação vetorial algébrica, utilizando a nomenclatura dada a cada vetor no item (ii).
- (v) A partir da expressão escrita no item anterior, encontre a expressão que relaciona as *velocidades relativas* no intervalo de tempo entre o início e o final do movimento. Esta expressão é semelhante ou diferente daquela encontrada na questão anterior? Explique seu raciocínio.

## Unidade 4. Dinâmica

1 – A seguir estão representados os 5 primeiros instantes do movimento de quatro bolas distintas (Bolas A, B, C e D). Considere o intervalo de tempo entre duas posições sucessivas como sendo igual a *uma* unidade de tempo.



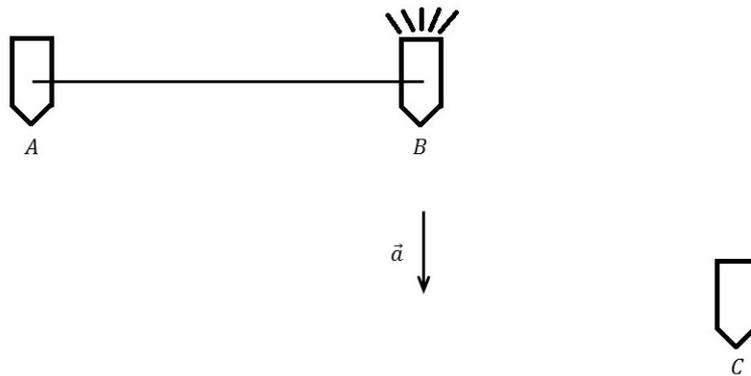
- Analise o movimento de cada bola acima. Diga se o *vetor velocidade* de cada bola é *constante* ou *variável* no tempo. Se for *variável*, especifique qual característica do vetor se modifica com o passar do tempo (*módulo*, *direção*, *sentido* ou *todas*).
- Em cada figura, escolha *dois instantes de tempo sucessivos* e esboce cuidadosamente o *vetor velocidade instantânea* em cada instante.
- Utilizando os vetores *velocidade instantânea* do item anterior, encontre qualitativamente o *vetor aceleração média* entre tais instantes.
- Analise os vetores *aceleração média* encontrados para cada bola tendo em vista a Segunda Lei de Newton. Julgue, se em cada caso, o movimento se dá sob a presença ou ausência de uma *força resultante* não nula. Caso haja uma *força resultante*, especifique suas características (*módulo*, *direção* e *sentido*). *Dicas: (1) Força resultante é definida como a soma (vetorial!!!) de todas as forças que agem sobre determinado*

corpo. (2) Escreva as forças utilizando o sistema coordenado que melhor lhe convier (cartesiano ou polar).

- (v) Julgue se a seguinte afirmação é *Verdadeira* ou *Falsa*. Justifique sua resposta com base nos resultados do item anterior.

*“Todo e qualquer movimento, inclusive aquele onde a velocidade é constante, exige a presença de uma força resultante na direção do movimento, que age sobre o corpo sendo a causa do movimento.”*

- 2 – Um foguete move-se lateralmente (ponto A ao B) no espaço interestelar longe de qualquer planeta ou fonte de forças. Inicialmente seus motores estão desligados. Ao chegar em B, seus motores são ligados, imprimindo-lhe uma aceleração constante representada na figura. Ao chegar em C, seus motores são novamente desligados e o foguete prossegue sua viagem novamente sem sofrer ação de quaisquer forças externas.



- (i) Na figura acima, esboce a *trajetória* que o foguete seguirá de B até C, bem como aquela que será percorrida após o desligamento dos motores em C.

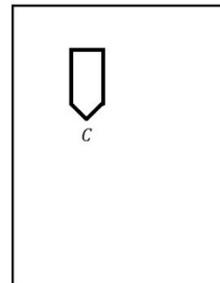
(ii) Na figura ao lado represente:

- a. O vetor *velocidade instantânea* do foguete ao chegar em B.
- b. O vetor *velocidade instantânea* após uma unidade de tempo.
- c. O vetor *velocidade instantânea* após duas unidades de tempo.
- d. O vetor *velocidade instantânea* após três unidades de tempo.



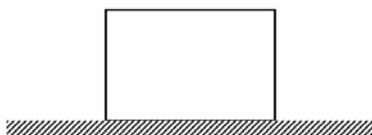
(iii) Baseado na forma com a qual o vetor *velocidade instantânea* muda com o passar do tempo, confira se o esboço preliminar que você fez está correto. Qual é o formato da trajetória seguida de B até C?

(iv) No quadro ao lado esboce o vetor *velocidade instantânea* do foguete ao chegar em C.

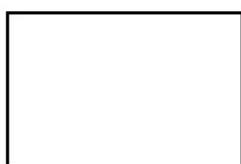


(v) Observando o item anterior, reveja sua previsão. Qual será a direção do movimento após o desligamento dos motores?

3 – Na figura a seguir está representada uma caixa em repouso sobre uma tábua que, por sua vez, está apoiada sobre o chão.



(i) A seguir, representamos ambos os corpos da figura anterior separadamente. Use vetores para representar as forças que atuam *sobre* cada corpo, identificando-as através de uma notação apropriada. Após fazê-lo, preencha a tabela seguinte com as informações solicitadas.

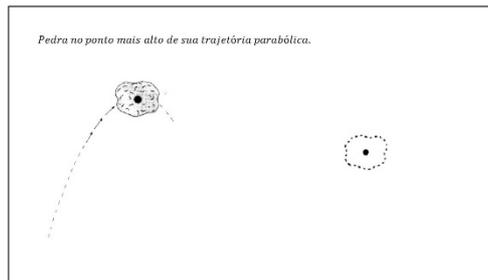
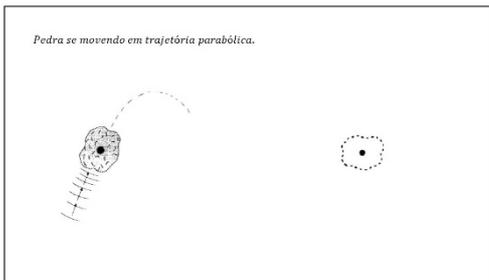
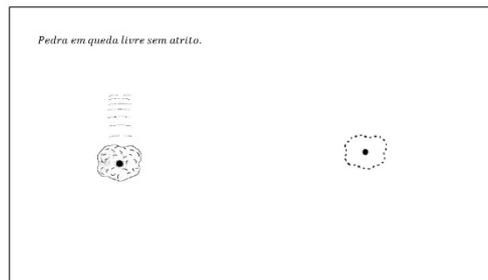
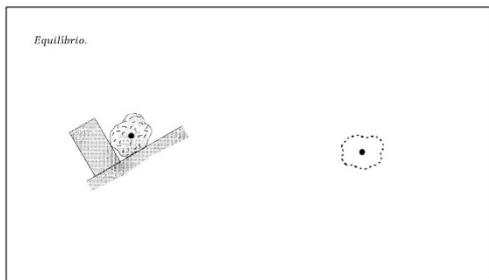
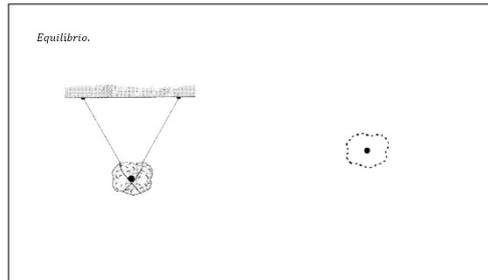
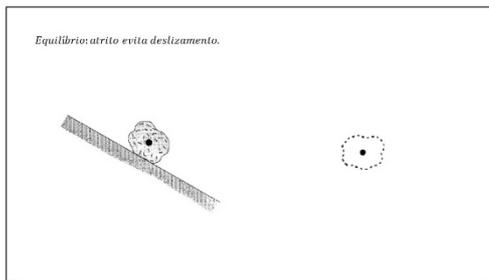
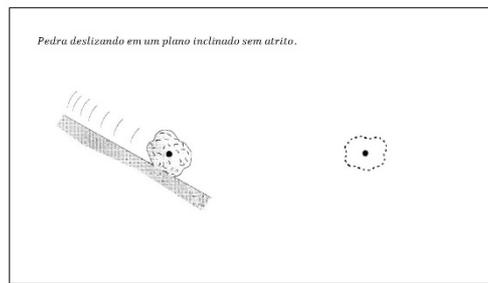
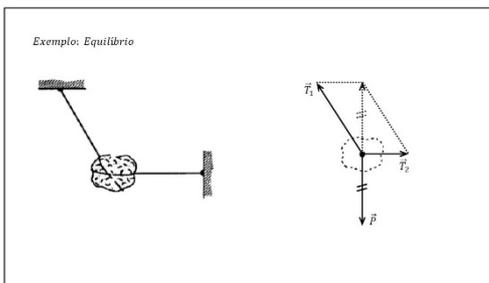


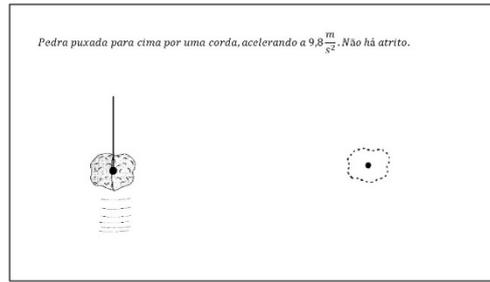
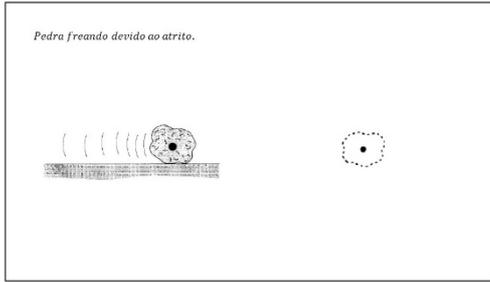
O diagrama que você fez acima é chamado *diagrama de forças*. Para fazê-lo, deve-se tratar os corpos separadamente e, em cada diagrama distinto devem constar apenas as forças exercidas *sobre* cada objeto de interesse devidamente identificadas. Revise cada diagrama e se necessário, modifique-os.

Corpo	Força	Símbolo	Quem é o agente?	Onde está aplicada?	Reação a esta força	Onde está aplicada?

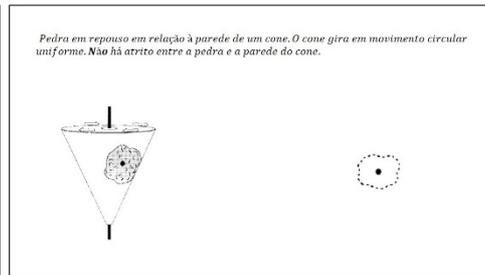
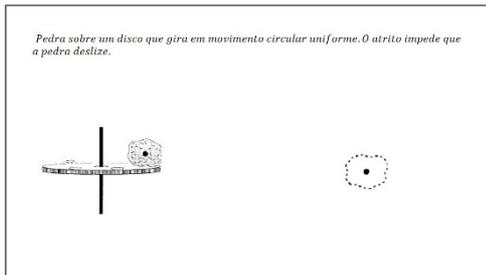
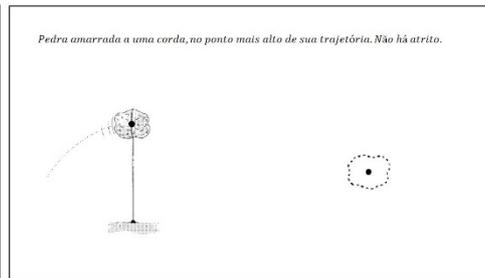
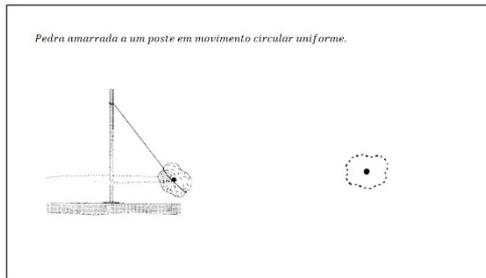
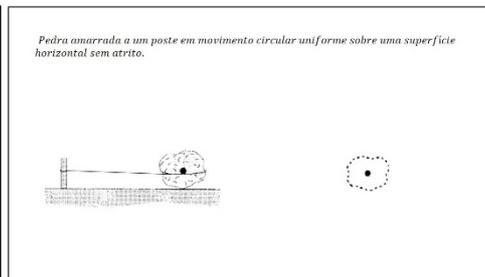
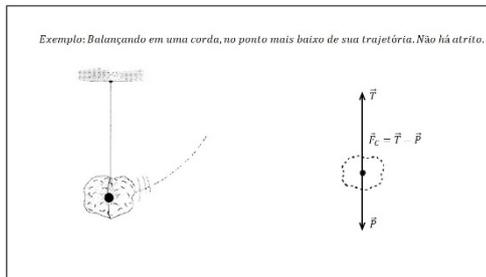
Em Física Newtoniana, as forças são provenientes de interação entre *dois* corpos distintos. As forças são especificadas identificando o objeto *sobre o qual* elas atuam e aquele *responsável pela* força. Por exemplo: A força gravitacional é exercida *sobre* a caixa *pela* Terra.

4 – Em cada caso a seguir uma ou mais forças agem *sobre* a pedra. Todas os movimentos estão restritos ao plano vertical, e a força de atrito é desprezível exceto quando for especificado em contrário. Faça o diagrama de forças de cada caso *de forma qualitativamente correta* (preste atenção ao tamanho e direção dos vetores conforme ressaltado no exemplo). Para tal utilize a “regra do paralelogramo” para soma de vetores. Utilize uma régua e faça seus diagramas a lápis para que possa alterá-los caso necessário. Adote a seguinte nomenclatura para as forças:  $\vec{P}$  = força peso;  $\vec{T}$  = tensão no fio;  $\vec{n}$  = força normal de reação de contato;  $\vec{f}_{at}$  = força de atrito.

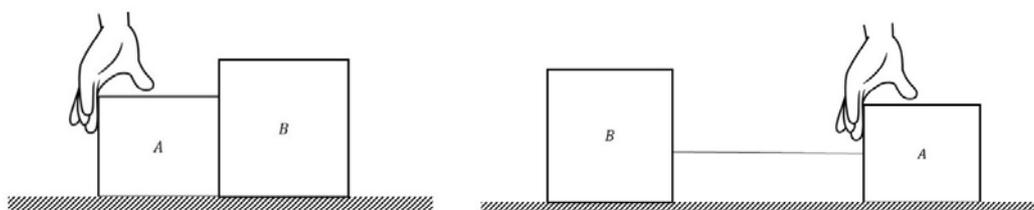




5 – Desenhe diagramas de corpo livre representando as forças que agem sobre a pedra e, em cada caso, indique a *força centrípeta*. Lembre-se que um corpo **não** está em equilíbrio quando se move circularmente. A magnitude da força centrípeta depende da velocidade angular e não há um valor pré-estabelecido do quão grande tal força deve ser. Adote a seguinte nomenclatura para as forças:  $\vec{P}$  = força peso;  $\vec{T}$  = tensão no fio;  $\vec{n}$  = força normal de reação de contato;  $\vec{f}_{at}$  = força de atrito;  $\vec{F}_c$  = resultante centrípeta.

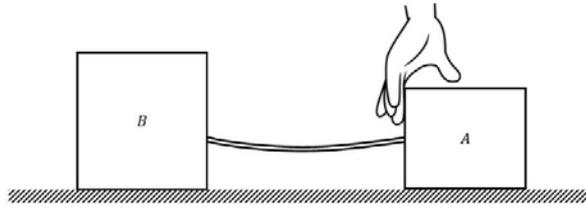


6 – A seguir estão representadas duas situações distintas: na primeira o bloco A, sobre o qual se exerce uma força externa, está em contato com o bloco B; na segunda figura a força externa continua agindo sobre o bloco A, sendo que desta vez os blocos estão conectados através de um fio inextensível e de massa desprezível. Não há atrito entre os blocos e o apoio e o movimento se dá da esquerda para a direita em ambos os casos.



- (i) Na primeira situação, o que acontece com a *distância entre os blocos A e B* com o passar do tempo? Tal distância *aumenta, diminui ou permanece constante*?
- (ii) Tendo em vista sua conclusão no item anterior, após um intervalo de tempo  $\Delta t$  qualquer, o bloco A terá percorrido uma distância *maior, igual ou menor* àquela percorrida pelo bloco B neste mesmo intervalo de tempo? Como consequência, a velocidade do bloco A será *maior, igual ou menor* a do bloco B? E a aceleração?
- (iii) Faça a mesma análise dos itens (i) e (ii) para a segunda situação. *Nota: Em situações semelhantes a esta podemos dizer que a corda é “inextensível”.*
- (iv) Baseado em suas conclusões, você poderia afirmar que as duas situações são semelhantes? Se sim, de que forma? Se não, por quê? *Dica: Tente focar nas semelhanças entre as duas situações, não em suas diferenças.*

7 – Os blocos A e B estão unidos por uma corda inextensível de massa  $m$ , conforme mostra a figura a seguir. Sobre o bloco A aplica-se uma força  $\vec{F}_{ext}$  horizontal e constante para a direita. Suponha que não há atrito entre o assoalho e os blocos.



(i) No espaço abaixo, faça um diagrama de forças para cada bloco e para a corda, nomeando adequadamente cada força. (Exemplo:  $\vec{F}_{CB}$  é a força exercida *pela corda sobre* o bloco B).

Bloco B	Corda	Bloco A

(ii) Aplicando a Terceira Lei de Newton, identifique nos diagramas acima todos os pares ação-e-reação colocando um ou mais “X” sobre cada membro do par. (Exemplo: Represente os vetores do primeiro par por uma seta com um “X”  $\text{---} \times \text{---}$ , os vetores do segundo par com dois “X”  $\text{---} \times \times \text{---}$ , etc.). Faça uma pequena lista com os pares obtidos.

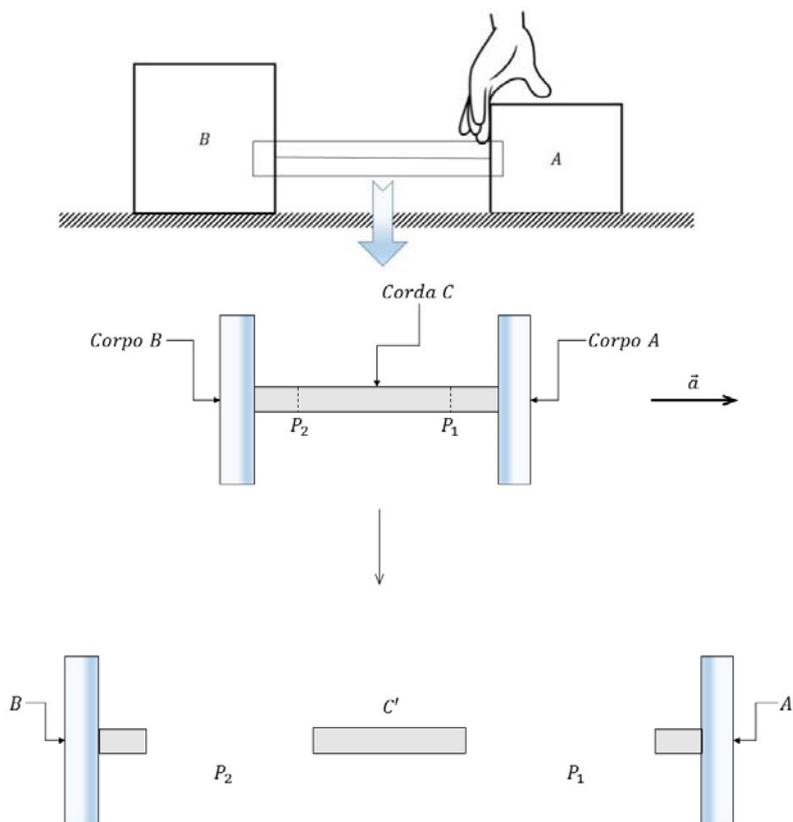
(iii) Considere somente as componentes *horizontais* de cada força. Faça uma lista em ordem decrescente de acordo com suas magnitudes, nomeando-as de forma apropriada. (Exemplo:  $F_{CB,x}$  é a componente  $x$  da força exercida *pela corda sobre* o bloco B).

- (iv) Oriente o eixo do movimento e escreva a segunda Lei de Newton para as componentes *horizontais* das forças que agem sobre a corda em suas formas vetorial e escalar, levando em consideração que sua massa é  $m$ .
- Que conclusão você pode tirar em relação ao módulo das componentes *horizontais* das forças que atuam *sobre* a corda? É correto afirmar que em uma corda real a força aplicada a uma extremidade é sempre igual em módulo à força aplicada à outra extremidade?
  - Sua lista do item anterior condiz com tais conclusões? Se não, corrija-a.
- (v) Julgue se a seguinte afirmação é *Verdadeira* ou *Falsa*. Justifique sua resposta com base nos resultados do item anterior.

*“O único papel das cordas nos problemas de mecânica é transmitir forças de um objeto para o outro. Isto significa que, neste caso, a força aplicada ao bloco A é integralmente transmitida ao bloco B.”*

- (vi) Suponha agora, que a massa da corda em questão se torne cada vez menor, tornando-se muito menor que a massa dos blocos. Utilizando a equação da segunda Lei de Newton escrita para a corda no item anterior, que conclusão você obtém acerca do módulo das forças aplicadas *sobre* a corda em cada extremidade?

8 – Considere os blocos A e B ligados por uma *corda real*, sendo o bloco A empurrado para a direita, inexistindo atrito entre os blocos e o chão. Imagine que a corda seja cortada em dois pontos,  $P_1$  e  $P_2$ , conforme ilustram as figuras a seguir.



Conforme se observa, permanece um segmento de corda conectado ao corpo A, outro segmento conectado ao corpo B e um terceiro segmento  $C'$  entre os outros dois. Como o segmento  $C'$  representa apenas uma parte da corda, podemos supor que este tem massa  $m'$ .

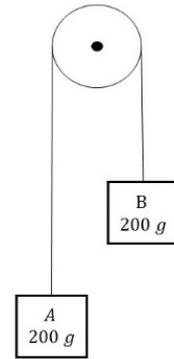
- (i) Considere  $\vec{T}_1$  a força que o segmento de corda conectado ao bloco A exerce sobre  $C'$  e  $\vec{T}'_1$  a força que  $C'$  exerce sobre tal segmento. Analogamente, considere  $\vec{T}_2$  a força que o segmento de corda conectado ao bloco B exerce sobre  $C'$  e  $\vec{T}'_2$  a força que  $C'$  exerce sobre tal segmento. Na figura acima, represente  $\vec{T}_1$ ,  $\vec{T}'_1$ ,  $\vec{T}_2$  e  $\vec{T}'_2$ .
- (ii) Utilizando a terceira Lei de Newton, como você compararia os módulos das forças  $\vec{T}_1$  e  $\vec{T}'_1$ ? E sobre os módulos de  $\vec{T}_2$  e  $\vec{T}'_2$ ?

*Nota: O **módulo** de cada uma dessas forças é definido como sendo a **tensão** na corda naquele determinado ponto.*

- (iii) Oriente o eixo do movimento e escreva a segunda Lei de Newton para  $C'$  em suas formas vetorial e escalar, levando em consideração que sua massa é  $m'$ .
- a. Suponha que o corte em  $P_1$  seja feito um pouco mais perto do bloco A e o corte em  $P_2$  um pouco mais perto do bloco B. O que você pode afirmar sobre o valor da *tensão* ao longo da corda? O valor é constante? Utilize a segunda Lei de Newton aplicada na corda para basear sua resposta.
- (iv) Suponha que o corte  $P_1$  seja feito *exatamente* na junção do bloco A com a corda. Da mesma forma, imagine que o corte  $P_2$  seja feito na junção do bloco B com a corda. Faça um paralelo de  $T_1$ ,  $\vec{T}_1$ ,  $T_2$  e  $\vec{T}_2$  com as forças listadas no item (iii) do exercício anterior.
- a. Reescreva a segunda Lei de Newton para a corda nesta nova situação. *Nota: Estamos considerando novamente a corda por inteiro, logo sua massa é  $m$ .*
- (v) Suponha agora, que a massa da corda em questão se torne cada vez menor, tornando-se muito menor que a massa dos blocos. Utilizando a equação da segunda Lei de Newton escrita para a corda no item anterior, que conclusão você obtém acerca das tensões na corda em cada extremidade?
- a. O que você pode afirmar sobre o valor da *tensão* ao longo da corda? O valor é constante? Utilize a segunda Lei de Newton aplicada na corda para basear sua resposta.

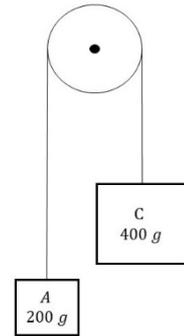
*Nota: Quando a massa da corda é muito menor que a massa dos corpos por ela conectados, dizemos que tal corda tem massa desprezível, popularmente conhecida por “corda sem massa”. Uma corda que é ao mesmo tempo “inextensível” e “sem massa” é conhecida como “corda ideal”.*

9 – Considere a máquina de Atwood representada na figura ao lado, formada por duas massas iguais conectadas por uma corda sobre uma polia. A corda e a polia são ideais. O objeto B é inicialmente preso de forma que nenhum corpo pode se mover.



- (i) O que acontecerá com as massas A e B assim que o sistema for solto a partir do repouso? *Não utilize álgebra.*
- (ii) Desenhe um diagrama de forças para cada bloco *após serem soltos.*
- (iii) Adote um sistema coordenado conveniente e escreva as equações da Segunda Lei de Newton para ambos os corpos. Escreva-as tanto em sua forma vetorial quanto em função do vetor unitário de seu sistema coordenado.
- (iv) Utilizando o que você aprendeu sobre cordas ideais e as informações dadas no enunciado do problema, o que você conclui sobre o movimento dos blocos? O que você conclui sobre o módulo da força exercida pela corda sobre os blocos? Seus diagramas de corpo livre condizem com suas conclusões? Se não, ajuste-os.

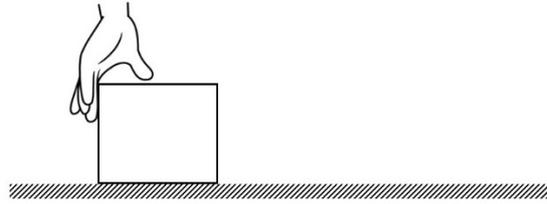
10 – Na figura a seguir tem-se o mesmo arranjo do exercício anterior. No entanto, o bloco B foi substituído pelo bloco C de maior massa. O sistema se encontra inicialmente em repouso.



- (i) O que acontecerá com as massas A e C assim que o sistema for solto a partir do repouso? *Não utilize álgebra.*
- (ii) A força resultante que age sobre o bloco C será *superior*, *inferior* ou *igual* àquela que age sobre o bloco A? Justifique brevemente *sem utilizar álgebra.*
- (iii) Desenhe um diagrama de forças para cada bloco *após serem soltos.*
- (iv) Adote um sistema coordenado conveniente e escreva as equações da Segunda Lei de Newton para ambos os corpos. Escreva-as tanto em sua forma vetorial quanto em função do vetor unitário de seu sistema coordenado.
- (v) Utilizando o que você aprendeu sobre cordas ideais e as informações dadas no enunciado do problema, encontre o valor da tensão na corda em suas extremidades e compare com a força peso dos blocos A e C.
- (vi) A sua previsão do item (ii) condiz com suas conclusões? Compare.
- (vii) Seus diagramas de corpo livre condizem com suas conclusões? Faça as devidas alterações.

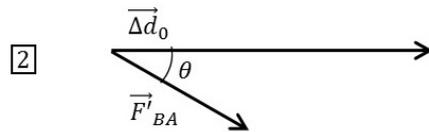
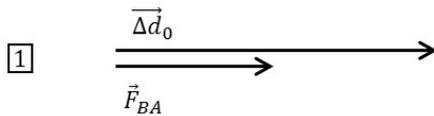
## Unidade 5. Trabalho e Energia

1 – Um bloco se move da esquerda para a direita sobre uma superfície sem atrito devido à aplicação de uma força horizontal  $\vec{F}$ , conforme figura a seguir.



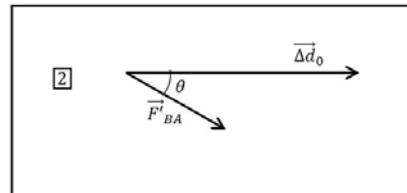
- (i) Represente nas caixas ao lado, utilizando setas, os vetores deslocamento do bloco ( $\vec{d}$ ) e a força aplicada pela mão sobre o bloco ( $\vec{F}_{EM}$ ).
- |                            |
|----------------------------|
| Deslocamento do bloco      |
| Força da mão sobre o bloco |
- (ii) Analise os vetores representados no item anterior e seja  $W_{EM}$  o trabalho realizado sobre o bloco pela mão. Este trabalho é positivo, negativo ou nulo? Justifique brevemente com base nos vetores.
- (iii) Suponha que o bloco continue se movendo da esquerda para a direita. Além disso, o trabalho realizado pela mão sobre o bloco deverá ter o mesmo valor em módulo do caso anterior, mas deverá ter sinal oposto. Represente no espaço ao lado novamente o vetor deslocamento do bloco ( $\vec{d}$ ), bem como a força ( $\vec{F}_{EM}$ ) que deverá ser aplicada sobre o bloco para satisfazer esta nova condição.
- |                            |
|----------------------------|
| Deslocamento do bloco      |
| Força da mão sobre o bloco |
- (iv) Como você relacionaria as forças  $\vec{F}_{EM}$  e  $\vec{F}_{ME}$  em termos de seus módulos, direções e sentidos? *Expresse seu resultado algebricamente, se possível.*

2 – A figura a seguir representa a visão lateral de duas situações distintas. Encontram-se esquematizados somente os vetores deslocamento ( $\vec{\Delta d}_0$ ) e força aplicada sobre determinado bloco B por um outro corpo A. Para ambos os casos os vetores  $\vec{\Delta d}_0$  são iguais (mesmo módulo, direção e sentido). Na primeira delas o corpo A exerce uma força  $\vec{F}_{BA}$  sobre o bloco B paralelamente a seu deslocamento; na segunda situação o corpo A exerce uma força  $\vec{F}_{BA}$  sobre o bloco B formando um ângulo  $\theta$  com seu vetor deslocamento.



(i) O trabalho  $W_{BA}$  realizado pelo corpo A sobre o bloco B na primeira situação é *maior*, *menor* ou *igual* ao trabalho  $W'_{BA}$  realizado pelo corpo A sobre o bloco B na segunda situação?

(ii) No espaço ao lado, considere a força  $\vec{F}_{BA}$  exercida pelo corpo A sobre o bloco B na segunda situação. Represente na figura as



projeções desta força paralela ao deslocamento ( $\vec{F}_{BA\parallel}$ ) e perpendicular a ele ( $\vec{F}_{BA\perp}$ ).

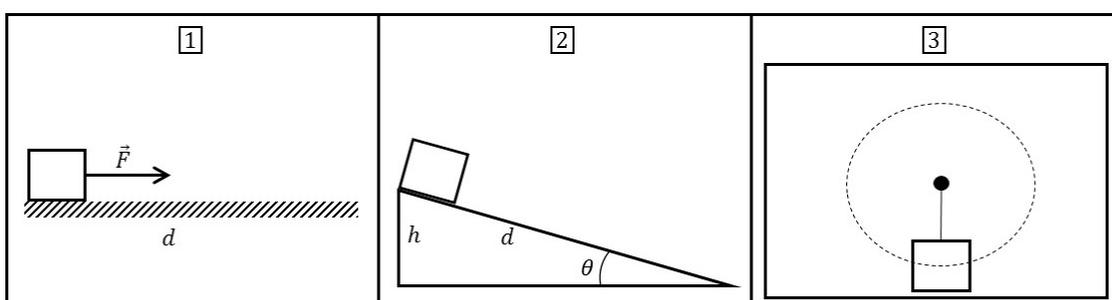
(iii) Escreva os módulos de ambas as projeções ( $|\vec{F}_{BA\parallel}|$  e  $|\vec{F}_{BA\perp}|$ ) em termos do módulo da força original ( $|\vec{F}_{BA}|$ ) e do ângulo  $\theta$ . Qual das projeções será responsável pela realização do trabalho sobre o bloco B ao longo do deslocamento  $\vec{\Delta d}_0$ ? Qual das projeções não realizará trabalho ao longo deste deslocamento?

(iv) Verifique sua resposta ao item (i). Caso necessário corrija-a.

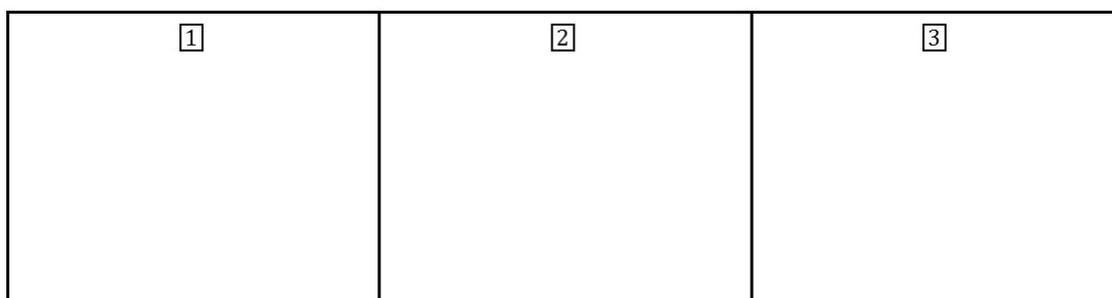
(v) Tendo em vista suas conclusões até o momento a respeito do trabalho  $W$  realizado sobre determinado corpo por uma força  $\vec{F}$  qualquer ao longo de um deslocamento  $\vec{d}$ , responda:

- Sob qual(quais) circunstância(s) este trabalho terá um valor máximo?
- Sob qual(quais) circunstância(s) este trabalho terá um valor mínimo?
- Sob qual(quais) circunstância(s) este trabalho será nulo?

3 – A seguir estão representadas três situações diferentes. Na primeira, um bloco é puxado por uma força  $\vec{F}$  sobre uma superfície plana sem atrito ao longo de uma distância  $d$ . Na segunda situação, o mesmo bloco desce um plano inclinado de comprimento  $d$ , altura  $h$  e fazendo ângulo  $\theta$  com a horizontal, não havendo atrito entre o bloco e o plano inclinado. Na terceira situação tem-se a visão de cima deste bloco se movendo sobre uma mesa. O bloco realiza um movimento circular uniforme ligado a um pino central por uma corda ideal e não há atrito entre a mesa e o bloco. O círculo pontilhado representa a trajetória do bloco, que se move em sentido anti-horário.



(i) No espaço abaixo faça um diagrama de forças para o bloco nas três situações descritas, identificando claramente as forças que agem sobre ele.

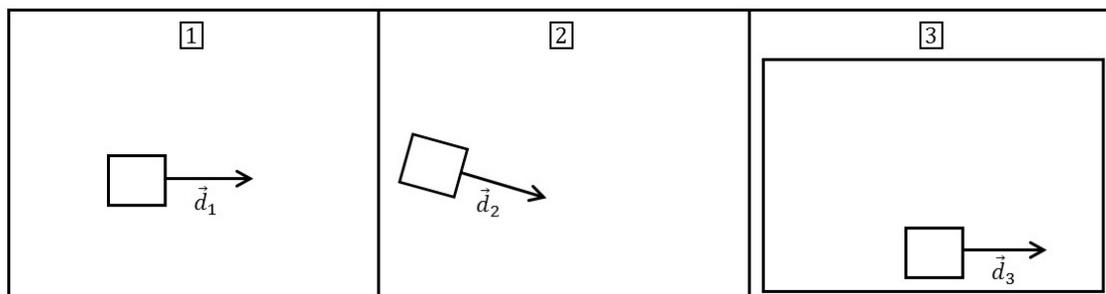


(ii) Considere a primeira situação. Liste em ordem decrescente de magnitude o trabalho realizado por cada força que age sobre o bloco ao longo do deslocamento  $\vec{d}$ . Identifique claramente a qual força se refere cada trabalho (ex:  $W_p$  é o trabalho realizado pela força peso, etc.). Caso alguma força não realize trabalho, indique explicitamente.

(iii) Aplique a análise do item anterior às situações 2 e 3.

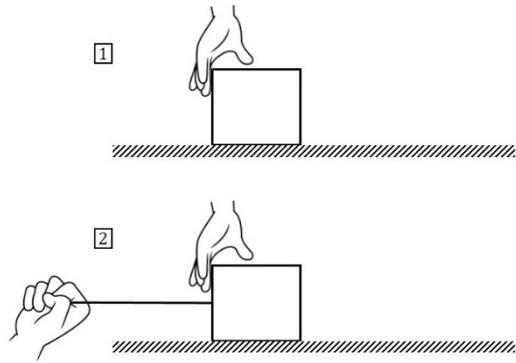
(iv) No espaço seguinte estão representados os deslocamentos infinitesimais  $\vec{d}_1$ ,  $\vec{d}_2$  e  $\vec{d}_3$ . Isto é, cada um deles indica a direção e sentido do deslocamento do

bloco em um *instante de tempo específico*. (*Lembre-se: no terceiro caso o bloco realiza um movimento circular uniforme; isto quer dizer que seu deslocamento instantâneo é sempre tangente à trajetória.*). Em cada uma das situações, indique as forças que agem sobre o bloco conforme identificadas nos diagramas do item (i).



- (v) Ainda no quadro do item anterior, indique claramente a projeção *paralela ao deslocamento infinitesimal* de cada força que age sobre o bloco. Caso não haja tal projeção referente a alguma força, indique claramente.
- (vi) Encontre o trabalho realizado por cada força que age sobre o bloco em cada uma das situações. Caso alguma força não realize trabalho, indique claramente justificando sua resposta.
- (vii) Verifique sua resposta aos itens (ii) e (iii). Caso necessário corrija-as.

4 – Os diagramas a seguir retratam dois blocos idênticos que se movem da esquerda para a direita sobre uma superfície plana sem atrito. Ambas as mãos que empurram os blocos exercem forças idênticas ( $\vec{F}_M$ ) sobre eles. No entanto, na segunda situação o bloco é puxado por uma corda ideal que exerce uma força  $\vec{F}_C$  sobre ele, sendo esta força de menor intensidade que aquela exercida pela mão. Em ambos os casos os blocos sofrem deslocamentos  $\vec{d}$  idênticos.



- (i) O trabalho realizado *pela mão que empurra o bloco* na primeira situação é *maior, menor* ou *igual* ao trabalho realizado *pela mão que empurra o bloco* na segunda situação?
- (ii) Sabendo que definimos *trabalho total sobre um corpo* como sendo a soma dos trabalhos individuais de todas as forças que agem sobre este corpo, responda: O *trabalho total* realizado sobre o bloco na primeira situação é *maior, menor* ou *igual* ao *trabalho total* realizado sobre o bloco na segunda situação?
- (iii) No espaço abaixo faça um diagrama de forças para o bloco nas duas situações descritas, identificando claramente as forças que agem sobre ele.

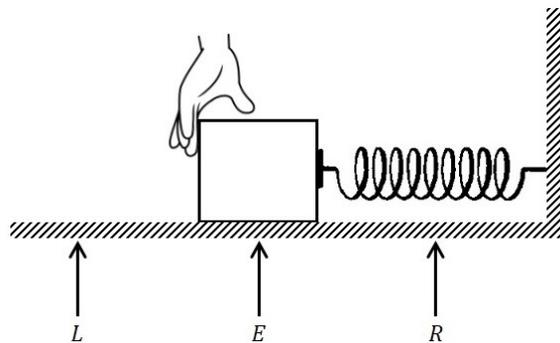
1	2
---	---

- (iv) Nos espaços abaixo represente os *vetores* que representam as *forças horizontais* que agem sobre os blocos em ambas as situações, bem como seus deslocamentos.

1	Forças horizontais sobre o bloco	2	Forças horizontais sobre o bloco
1	Deslocamento do bloco	2	Deslocamento do bloco

- (v) Calcule o trabalho realizado *por cada força horizontal* sobre os blocos em ambas as situações. Com base em suas conclusões, reveja sua resposta ao item (i). Caso necessário, faça as devidas correções.
- (vi) De posse dos resultados do item anterior, encontre o *trabalho total* realizado sobre o bloco em ambas as situações. Compare suas conclusões com sua resposta ao item (ii). Caso necessário, corrija-o. *Dica: Lembre-se da definição de trabalho total sobre um corpo dada no item (ii).*

5 – Um bloco se encontra preso a uma mola da forma indicada na figura a seguir. O atrito entre o bloco e a mesa é desprezível. A mola encontra-se inicialmente na posição de equilíbrio (E). Em seguida, o bloco é empurrado para a *direita*, ultrapassando o ponto R indicado.



- (i) O trabalho realizado *pela mão sobre o bloco* ao deslocá-lo para a direita é *positivo, negativo* ou *nulo*? O trabalho realizado *pela mola sobre o bloco* neste mesmo intervalo de tempo é *positivo, negativo* ou *nulo*? O trabalho realizado *pela parede sobre a mola* no mesmo intervalo é *positivo, negativo* ou *nulo*?
- (ii) No espaço a seguir indique somente as *forças horizontais* que agem sobre o bloco, a mola e a parede *no momento em que o bloco é empurrado para a direita*. Desenhe os vetores *deslocamento* sofridos pelo bloco, pelas

extremidades esquerda e direita da mola e pela parede *no momento em que o bloco é empurrado para a direita*. Caso alguma grandeza seja nula, indique explicitamente.

<i>Forças horizontais sobre o bloco</i>	<i>Forças horizontais sobre a mola</i>		<i>Forças horizontais sobre a parede</i>
<i>Deslocamento do bloco</i>	<i>Deslocamento da extremidade esquerda da mola</i>	<i>Deslocamento da extremidade direita da mola</i>	<i>Deslocamento da parede</i>

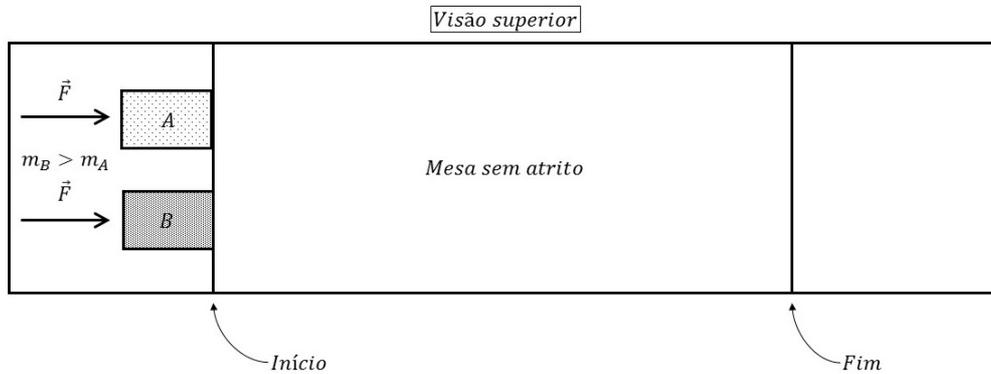
- (iii) Com base nos dados do item anterior e, utilizando a definição de trabalho de uma força, reveja suas respostas do item (i). Caso necessário, corrija-as.
- (iv) O bloco, após ultrapassar o ponto R indicado, é solto a partir do repouso. O bloco ultrapassa novamente o ponto R se movendo *para a esquerda*. Um intervalo de tempo depois, ultrapassa o ponto L, chega ao repouso e faz o caminho inverso *se movendo para a direita*. Considere dois intervalos distintos: (1) o bloco se move *para a esquerda* do ponto R ao ponto de equilíbrio (E); (2) o bloco se move *para a direita* do ponto de equilíbrio (E) ao ponto (R). Para cada intervalo, indique nos espaços a seguir as *forças horizontais* que agem sobre o bloco, bem como seus respectivos deslocamentos.

1 <i>Forças horizontais sobre o bloco – R → E</i>	2 <i>Forças horizontais sobre o bloco – E → R</i>
1 <i>Deslocamento do bloco – R → E</i>	2 <i>Deslocamento do bloco – E → R</i>

- (v) A partir dos dados do item anterior e, utilizando a definição de trabalho de uma força, determine se o trabalho realizado *pela mola sobre o bloco é positivo, negativo ou nulo* nos intervalos (1) e (2).
- (vi) Julgue se a seguinte afirmativa é *Verdadeira* ou *Falsa*. Justifique sua resposta.

*O trabalho de uma força sobre determinado corpo será positivo caso esta força esteja no sentido positivo do sistema coordenado. Analogamente, o trabalho será negativo caso esta força esteja no sentido negativo do sistema coordenado*

6 – Dois blocos, A e B, estão inicialmente em repouso sobre uma mesa horizontal e sem atrito, conforme mostrado a seguir na visão superior do aparato. Em determinado momento, a cada bloco é aplicada uma força  $\vec{F}$  de mesmo módulo, agindo sobre eles enquanto estes estiverem entre as marcas identificadas como “início” e “fim”. O bloco B possui maior massa.



(i) Dois alunos conversam sobre a energia cinética final de cada bloco.

Aluno 1: “O bloco A terá maior energia cinética no final, pois sua massa é menor, chegando ao final do percurso com maior velocidade. Como a velocidade é elevada ao quadrado na equação da energia cinética e a massa não é, aquele que tiver maior velocidade no final terá maior energia cinética.”

Aluno 2: “Eu discordo. Embora a velocidade seja elevada ao quadrado, a massa de B é maior, o que compensa pela menor velocidade. Portanto, o bloco B tem maior energia cinética final.”

Você concorda com alguma das afirmativas? Se sim, com qual?

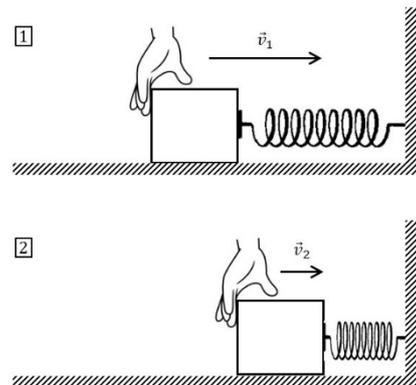
(ii) No espaço ao lado faça um diagrama de forças para os blocos A e B e represente seus respectivos vetores deslocamento.

A	B
A Deslocamento do bloco	B Deslocamento do bloco

(iii) Indique o trabalho realizado por cada força que age sobre os blocos. Se alguma força não realizar trabalho, indique explicitamente.

- (iv) Compare o *trabalho total* realizado sobre o bloco A e o *trabalho total* realizado sobre o bloco B ao longo do deslocamento entre as marcas de início e fim?
- (v) Com base no item anterior e, levando em consideração a relação entre *trabalho e energia cinética*, reveja as afirmativas dadas por cada aluno no item (i). Alguma delas é verdadeira? Caso todas sejam falsas, elabore uma terceira afirmativa comparando as energias cinéticas finais de cada bloco, levando em consideração suas conclusões.

7 – Um bloco de massa  $m$  está sobre uma superfície sem atrito e preso a uma mola ideal de constante elástica  $k$ . No instante inicial (1) o bloco possui velocidade  $\vec{v}_1$  e a mola encontra-se relaxada, conforme indicado. Neste momento o bloco é empurrado por uma força constante  $\vec{F}$  até o instante final (2), atingindo a velocidade final  $\vec{v}_2$  menor que  $\vec{v}_1$ , comprimindo a mola de  $\Delta x$ .

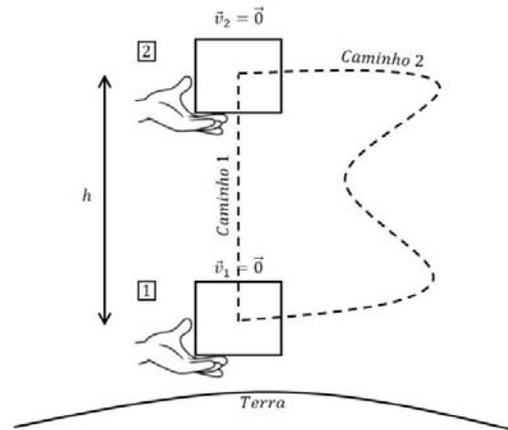


- (i) Nos espaços a seguir, represente as *forças horizontais* que agem sobre o bloco e o *deslocamento* sofrido pelo bloco na passagem do instante (1) ao instante (2).

<i>Forças horizontais sobre o bloco</i>
<i>Deslocamento do bloco</i>

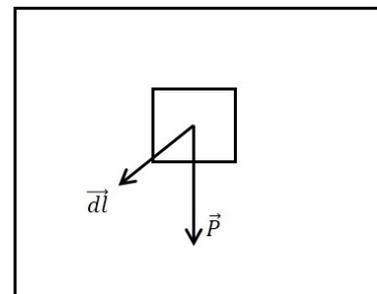
- (ii) Avalie o *trabalho individual de cada força* horizontal que age sobre o bloco, indicando se é *positivo, negativo* ou *nulo*.
- (iii) Indique o *trabalho total sobre o bloco*. Este trabalho é *positivo, negativo* ou *nulo*?  
Há informações suficientes para responder esta pergunta?
- (iv) Analise a *variação de energia cinética* do bloco neste intervalo. Ela é *positiva, negativa* ou *nula*?
- (v) Sendo assim, reveja o item (iii). Com base na relação entre trabalho e energia cinética desenvolvido no exercício anterior, avalie o *trabalho total* realizado sobre o bloco.

8 – Considere a seguinte situação: um bloco de massa  $m$  que se encontra na vizinhança terrestre e possui velocidade inicial nula (posição 1) é erguido de uma altura  $h$  em linha reta (caminho 1) e termina seu movimento também com velocidade nula (posição 2), conforme indica a figura. Após isso, o bloco é levado novamente ao ponto de partida (posição 1) através do caminho 2, quando termina seu movimento novamente em repouso.



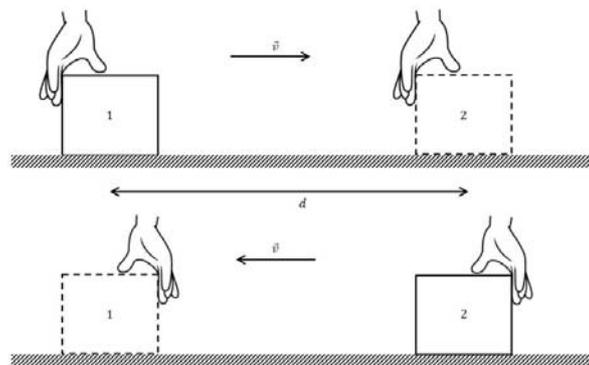
*Dica: Para esta questão adote convenientemente um eixo ordenado indicando claramente sua origem.*

- (i) Calcule o trabalho realizado pela força peso sobre o bloco ao ir da posição 1 à posição 2 ao longo da linha reta (**caminho 1**).
- (ii) Calcule a variação da energia potencial gravitacional entre os pontos inicial e final.
- (iii) De que forma as grandezas dos itens (i) e (ii) se relacionam?
- (iv) Considere agora o trabalho realizado pela força peso sobre o bloco ao voltar à posição 1 **pelo caminho 2**. Na figura ao lado temos o bloco em algum momento intermediário em seu movimento de volta por tal caminho. Representamos ainda a força peso que age sobre o bloco ( $\vec{P}$ ), bem como um deslocamento infinitesimal ( $\vec{dl}$ ) do bloco. Represente as projeções do vetor  $\vec{dl}$  paralela ao vetor peso ( $\vec{dl}_\parallel$ ) e perpendicular a ele ( $\vec{dl}_\perp$ ).
- (v) Baseado na definição de trabalho de uma força, responda:
  - a. Qual será o trabalho realizado pela força peso sobre o bloco ao longo do deslocamento *horizontal*, na volta à posição 1 **pelo caminho 2**?
  - b. Qual será o trabalho realizado pela força peso sobre o bloco ao longo do deslocamento *vertical*, na volta à posição 1 **pelo caminho 2**?



- (vi) Sendo assim, o trabalho realizado pela força peso sobre o bloco ao ir da posição 1 à posição 2 (*pelo caminho 1*) se relaciona de alguma forma com o trabalho realizado pela mesma força ao voltar à posição inicial (*pelo caminho 2*)? Se sim, de que forma?
- (vii) Podemos então dizer que a força peso é um exemplo de *força conservativa*? Por quê?
- (viii) O que podemos dizer sobre o trabalho realizado por uma força conservativa ao longo de um *caminho fechado*? *Dica: Entendemos por caminho fechado aquele que começa e termina num mesmo ponto.*

9 – Um bloco de massa  $m$  é empurrado por uma força constante  $\vec{F}$  ao longo de uma superfície plana *com atrito*. O bloco percorre a distância  $d$  indicada com velocidade constante  $\vec{v}$ , do ponto 1 ao ponto 2. Ao chegar no ponto 2, o bloco é então empurrado com a mesma força  $\vec{F}$  de volta ao ponto inicial, com velocidade constante  $\vec{v}$  de mesmo módulo que no trecho anterior.



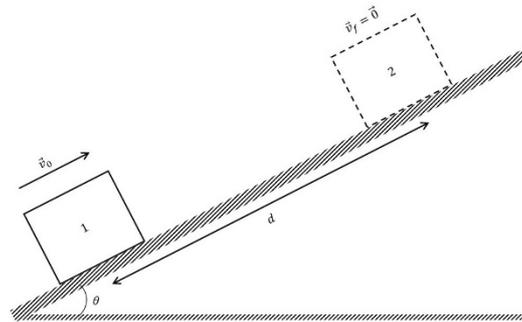
- (i) No quadro ao lado, faça um diagrama de forças para o bloco no percurso do ponto 1 ao ponto 2 e no percurso contrário. Indique também o vetor deslocamento sofrido pelo bloco em cada trecho.

Ponto 1 ao 2	Ponto 2 ao 1
Deslocamento do bloco	Deslocamento do bloco

- (ii) Calcule o trabalho realizado por cada força identificada no item anterior sobre o bloco no trecho do ponto 1 ao 2 e no percurso contrário.
- (iii) Calcule o *trabalho total* realizado sobre o bloco durante todo o movimento.
- (iv) Baseado nos seus conhecimentos referente ao trabalho de uma força conservativa em um caminho fechado, há alguma força *não-conservativa* agindo sobre o bloco neste exemplo? Se sim, qual força neste caso é não-conservativa?

- (v) Se, ao voltar do ponto 2 para o ponto 1, o bloco o fizesse por um outro caminho tal que a distância percorrida fosse maior que  $d$ , o trabalho da força identificada no item anterior seria *maior*, *menor* ou *igual* àquele originalmente encontrado para este trajeto?
- (vi) Sendo assim, você afirmaria que o trabalho de forças não-conservativas depende do caminho ao longo do qual a força age? Se sim, essa dependência seria *diretamente* ou *inversamente* proporcional? Explique brevemente.

10 – A figura a seguir mostra um bloco de massa  $m$  que começa a subir uma rampa com atrito com velocidade  $\vec{v}_0$  (posição 1). Ao final do movimento (posição 2) o bloco se encontra em repouso sobre a rampa, após ter percorrido uma distância  $d$ .



- (i) No quadro a seguir, faça um diagrama de forças para o bloco durante o movimento descrito.
- (ii) Das forças representadas no diagrama de forças, quais delas efetivamente realizam trabalho durante o movimento?
- (iii) Alguma das forças identificadas no item anterior é *conservativa*? Se sim, qual? Alguma delas é *não-conservativa*? Se sim, qual?
- (iv) Sendo  $W^c$  o trabalho das forças conservativas sobre o bloco e  $W^{nc}$  o trabalho das forças não-conservativas sobre o bloco, escreva a equação que relaciona a *variação de energia cinética* do bloco com o *trabalho total* sobre ele realizado.
- (v) Levando em consideração a relação entre  $W^c$  e  $\Delta U$  encontrada no exercício 8 e aplicando esta relação na equação anterior, o que podemos afirmar sobre o efeito do *trabalho realizado por forças não-conservativas*? Esta grandeza se relaciona com alguma outra grandeza do problema?



## **Apêndice III**

### **Guia do professor**

Esta seção apresenta os objetivos específicos a serem alcançados por meio dos tutoriais apresentados no apêndice anterior – Apêndice II, bem como as dificuldades abordadas e, quando aplicável, as referências bibliográficas que os sustentam. Para uma melhor visualização e interpretação das informações, estas serão separadas por unidade e dispostas em tabelas, obedecendo estritamente a numeração crescente apresentada nos tutoriais.

## Unidade 1. Vetores

**Tabela III.1.** Unidade 1: Vetores – exercícios #1 ao #3

<b>Unidade 1 - Exercícios #1 ao #3</b>	
Conceitos abordados	Apresentação de vetores como "deslocamentos".
Comentários	<p>O exercício #1 tem como foco a apresentação e utilização da regra da soma de vetores - o deslocamento resultante é a soma vetorial dos deslocamentos individuais.</p> <p>O exercício #2 apresenta a diferença entre soma e subtração de grandezas vetoriais e escalares por meio de vetores colineares.</p> <p>O exercício #3 tem como focos (1) a soma vetorial utilizando a regra do polígono e (2) a inversão do sentido do vetor quando multiplicado pelo escalar "-1".</p>
Referências	Observações feitas em sala de aula.

**Tabela III.2.** Unidade 1: Vetores – exercício #4

<b>Unidade 1 –Exercício #4</b>	
Conceitos abordados	Vetor como “deslocamento” apresentado em uma situação concreta.
Comentários	<p>O item <i>i</i> tem como foco a representação do vetor deslocamento em uma situação concreta e aplica indiretamente o conceito de módulo de um vetor.</p> <p>O item <i>ii</i> aborda a habilidade de representação de vetores em função de suas coordenadas cartesianas.</p> <p>O item <i>iii</i> utiliza conceitos previamente adquiridos (seno e cosseno), gerando uma motivação e introduzindo concretamente a decomposição de vetores ao longo dos eixos <math>x</math> e <math>y</math>.</p>
Referências	Observações feitas em sala de aula.

**Tabela III.3.** Unidade 1: Vetores – exercício #5

<b>Unidade 1 –Exercício #5</b>	
Conceitos abordados	Análise de uma trajetória concreta.
Comentários	<p>O item <i>i</i> tem como foco voltar a atenção dos alunos a que tipo de informação está sendo representada no gráfico. Neste caso, ambos os eixos indicam o deslocamento do carro ao longo do respectivo eixo.</p> <p>O item <i>ii</i> volta a atenção ao significado de trajetória do movimento. Como ambos os eixos representam deslocamentos do móvel, a função representada é a trajetória seguida pelo carro. Isto se faz necessário para confrontar posteriormente com a representação gráfica da função horária do movimento.</p> <p>O item <i>iii</i> tem como foco a representação de pontos da trajetória em função das suas coordenadas <math>x</math> e <math>y</math>.</p> <p>O item <i>iv</i> tem como foco a representação do vetor posição do móvel como vetor que parte da origem e vai até a posição ocupada pelo móvel em função de suas coordenadas <math>x</math> e <math>y</math> e dos unitários de tais eixos.</p> <p>Os itens <i>v</i> e <i>vi</i> têm como foco a representação dos vetores deslocamento em função dos unitários; o primeiro leva os alunos a</p>

	fazer a subtração das coordenadas $x$ e $y$ para chegar ao vetor representante da classe de equivalência e o segundo tem como objetivo a percepção do efeito causado pela multiplicação por “-1” (multiplicação do sinal das componentes).
Referências	Observações feitas em sala de aula.

**Tabela III.4.** Unidade 1: Vetores – exercício #6

<b>Unidade 1 –Exercício #6</b>	
Conceitos abordados	Projeção de um vetor sobre um eixo.
Comentários	<p>Este exercício tem como foco a percepção por parte do aluno, através de um exemplo concreto, do significado de "projeção de um vetor" sobre um eixo qualquer como sendo uma grandeza vetorial. Este exercício foi inspirado na seção 4.3 de [Arons, 1997].</p> <p>O item <i>i</i> solicita que o aluno represente cada deslocamento em separado.</p> <p>O item <i>ii</i> faz com que o aluno desenvolva a definição operacional para o processo de traçar componentes de um vetor sobre um eixo.</p> <p>O item <i>iii</i> exige que o aluno compare a diferença entre "vetor" e "projeção do vetor sobre um eixo", percebendo que vetores de módulos iguais podem ter projeções totalmente distintas, bem como o fato de vetores distintos poderem possuir determinada componente em comum.</p>
Referências	[Arons, 1997]

**Tabela III.5.** Unidade 1: Vetores – exercícios #7 ao #9

<b>Unidade 1 –Exercícios #7 ao #9</b>	
Conceitos abordados	Módulo, direção e subtração vetoriais.
Comentários	<p>O exercício #7 avalia a capacidade de identificação por parte dos alunos de vetores que possuam o mesmo módulo, independentemente de como estiverem orientados (vertical ou horizontalmente).</p> <p>O exercício #8 avalia a capacidade de identificação por parte dos alunos de vetores que possuam mesma direção, independentemente do sentido. O aluno deve comentar brevemente seu raciocínio. A ideia é que o aluno avalie em termos das proporções das direções vertical e horizontal de cada vetor, notando que todos aqueles que formem a diagonal de um quadrado (lados iguais) e que sejam paralelos ao vetor <math>\vec{A}</math> têm a mesma direção que este. Respostas levando em consideração ângulos, seus respectivos senos ou cossenos também são aceitáveis, desde que devidamente justificadas.</p> <p>O exercício #9 avalia a capacidade do aluno em enxergar claramente que <math>\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}</math>, portanto <math>\vec{B} = \vec{R} - \vec{A}</math>. Esta habilidade já foi trabalhada indiretamente no exercício #2. Após isso, deve empregar corretamente a definição operacional para subtração de vetores.</p>
Referências	[Nguyen e Meltzer, 2003]

**Tabela III.6.** Unidade 1: Vetores – exercício #10

<b>Unidade 1 –Exercício #10</b>	
Conceitos abordados	Vetores como “deslocamentos” utilizando plano cartesiano.
Comentários	<p>O exercício tem como fundamentação a dificuldade dos alunos em realizar operações básicas com vetores representados sob a forma gráfica, por meio do uso incorreto da regra do paralelogramo.</p> <p>O item <i>i</i> tem como foco a representação dos vetores deslocamento em função dos unitários; este item leva os alunos a fazer a subtração das coordenadas <math>x</math> e <math>y</math> para chegar ao vetor representante da classe de equivalência. Faz ainda com que vejam que vetores em locais geométricos diferentes podem ser expressos da mesma forma (mesmas coordenadas). Induz à ideia de vetor livre.</p> <p>O item <i>ii</i> exige que os alunos realizem as operações considerando diretamente as coordenadas dos vetores.</p> <p>O item <i>iii</i> exige que os alunos transladem os vetores para que consigam efetuar as operações.</p> <p>O item <i>iv</i> exige do aluno, além da translação do vetor à origem dos eixos, que atente ao eixo agora adotado (eixo <math>y</math>) e utilize as técnicas trabalhadas no exercício #4.</p>
Referências	[Nguyen e Meltzer, 2003]

**Tabela III.7.** Unidade 1: Vetores – exercícios #11 e #12

<b>Unidade 1 –Exercícios #11 e #12</b>	
Conceitos abordados	Notações de grandezas escalares e vetoriais.
Comentários	<p>Estes exercícios têm como foco promover o conflito entre as diversas concepções prévias dos alunos no que tange à linguagem utilizada para a descrição de grandezas escalares e vetoriais, bem como suas notações. Aborda claramente a questão da igualdade vetorial, ocorrendo somente quando dois ou mais vetores possuem não só mesmo módulo, mas também mesma direção e sentido.</p> <p>Observações feitas em sala de aula apontam fortemente para a necessidade deste tipo de exercício, visto que os alunos tendem a chegar à universidade com muitos vícios de linguagem em relação a vetores. Portanto, a reflexão e a discussão provocada por estes exercícios pretendem promover a habilidade básica de comunicação e representação de vetores, que é extremamente importante para o desenvolvimento dos tópicos futuros em todos os cursos de Física.</p>
Referências	Observações feitas em sala de aula.

**Tabela III.8.** Unidade 1: Vetores – exercício #13

<b>Unidade 1 –Exercício #13</b>	
Conceitos abordados	Propriedades da soma e subtração vetoriais.
Comentários	Este exercício tem como objetivo fazer com que o aluno efetue as operações de soma e subtração entre vetores dados, e em seguida obtenha resultados mais gerais sobre estas operações. Tem como fundamentação a dificuldade dos alunos em realizar operações básicas com vetores (adição e subtração) através da regra do paralelogramo quando representados sob a forma gráfica, porém desacompanhados do plano cartesiano.
Referências	[Nguyen e Meltzer, 2003]

**Tabela III.9.** Unidade 1: Vetores – exercício #14

<b>Unidade 1 –Exercício #14</b>	
Conceitos abordados	Vetores como segmentos de reta orientados.
Comentários	Este exercício aborda a proposta de representação de vetores como segmentos de reta orientados, cujos extremos são seus pontos de partida e chegada (ex: $\overrightarrow{AB}$ representa o vetor que tem origem no ponto $A$ e estende-se até o ponto $B$ ). Aborda ainda as dificuldades que o aluno encontra ao lidar com esta notação. Para a correta resolução deste exercício faz-se necessário empregar propriedades vetoriais tais como: $\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{CA} = \overrightarrow{CA} + \overrightarrow{AB}$ $\overrightarrow{CD} - \overrightarrow{ED} = \overrightarrow{CD} - (-\overrightarrow{DE}) = \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DE}$
Referências	[Watson et al., 2003]

**Tabela III.10.** Unidade 1: Vetores – exercício #15

<b>Unidade 1 –Exercício #15</b>	
Conceitos abordados	Multiplicação de vetor por escalar.
Comentários	O aluno deve perceber que tal operação significa, em termos gerais, multiplicar cada uma das componentes do vetor pelo escalar dado. Neste exercício, é definido primeiro um vetor qualquer. Após, define-se um vetor que seria o "dobro" do primeiro (módulo). Analisando o segundo vetor, percebe-se que a operação de "multiplicar por dois" significa multiplicar cada uma de suas componentes pelo fator dois. Além disso, espera-se que o aluno compreenda que um vetor é um representante de uma classe de equivalência, uma vez que, neste exercício, não é possível escrevê-lo a partir da origem.
Referências	Observações feitas em sala de aula.

**Tabela III.11.** Unidade 1: Vetores – exercícios #16 e #17

<b>Unidade 1 –Exercícios #16 e #17</b>	
Conceitos abordados	Vetor como representante de classe de equivalência.
Comentários	Estes exercícios utilizam-se de translações puras de figuras geométricas para concluir pela equivalência dos vetores que representam os deslocamentos das diversas partes destas figuras. Ressalta-se a necessidade de utilização destes dois exercícios em conjunto, rigorosamente na ordem apresentada, visto que empregam a técnica conhecida como “ <i>oops-go-back</i> ” onde o aluno, após ser induzido propositalmente ao erro, é levado a conscientizar-se do fato e efetuar a devida correção.
Referências	[Watson et al., 2003] [Beatty et al., 2006]

## Unidade 2. Cinemática unidimensional

**Tabela III.12.** Unidade 2: Cinemática Unidimensional – exercícios #1 e #2

<b>Unidade 2–Exercícios #1 e #2</b>	
Conceitos abordados	Velocidade escalar.
Comentários	<p>O exercício #1 tem como foco fazer com que o aluno identifique o tipo de movimento representado observando o desenrolar de uma situação real, utilizando a definição operacional de velocidade média unidimensional: <math>v = \frac{\Delta x}{\Delta t}</math>. Deve-se atentar à variação de espaço e de tempo entre dois instantes sucessivos.</p> <p>O exercício foca também na dificuldade comumente apresentada pelos alunos, onde estes confundem os conceitos de posição e velocidade. Faz ainda com que o aluno associe a situação concreta (mundo real) à sua representação gráfica.</p> <p>Para o esboço do gráfico de forma correta é necessário que o aluno relacione informações dadas de forma narrativa a aspectos importantes do gráfico, como posição e velocidade iniciais das bolas e pontos de ultrapassagem.</p> <p>No exercício#2 ambas as bolas se movimentam sobre canaletas. No entanto, espera-se que os alunos sejam capazes de expor seu raciocínio em função da definição operacional de velocidade elaborado na questão anterior.</p>
Referências	[Trowbridge e McDermott, 1980] [McDermott et al., 1987]

**Tabela III.13.** Unidade 2: Cinemática Unidimensional – exercício #3

<b>Unidade 2–Exercício #3</b>	
Conceitos abordados	Posição e velocidade; leitura de gráficos.
Comentários	<p>Este exercício foi baseado na dificuldade dos alunos em discriminar se devem obter informações de gráficos a partir da leitura da ordenada ou da inclinação do mesmo.</p> <p>O exercício faz com que o aluno confronte as duas grandezas (posição e velocidade) a partir do mesmo gráfico, percebendo a forma como ambas são extraídas.</p>
Referências	[McDermott et al., 1987]

**Tabela III.14.** Unidade 2: Cinemática Unidimensional – exercício #4

<b>Unidade 2–Exercício #4</b>	
Conceitos abordados	Posição e velocidade; leitura de gráficos.
Comentários	<p>Este exercício é uma extensão do exercício anterior e foi proposto segundo as dificuldades apresentadas pelos alunos ao interpretar gráficos curvilíneos, que envolvam mudanças tanto no valor da ordenada quanto no valor da inclinação da reta tangente.</p>
Referências	[McDermott et al., 1987]

**Tabela III.15.** Unidade 2: Cinemática Unidimensional – exercício #5

<b>Unidade 2–Exercício #5</b>	
Conceitos abordados	Leitura e elaboração de gráficos.
Comentários	<p>Este exercício explora a dificuldade dos alunos em traçar o gráfico da função horária de um móvel a partir de informações extraídas de outro gráfico. Deverão enxergar que a ordenada do gráfico seguinte é dada pela inclinação do gráfico anterior.</p> <p>As dificuldades mais comuns encontradas incluem a cópia do formato do gráfico original ao se traçar o próximo, além da inobservância de aspectos mais sutis como mudanças abruptas na inclinação do gráfico (quinas ou descontinuidades).</p>
Referências	[McDermott et al., 1987]

**Tabela III.16.** Unidade 2: Cinemática Unidimensional – exercício #6

<b>Unidade 2–Exercício #6</b>	
Conceitos abordados	Leitura de gráficos.
Comentários	<p>Este exercício foca na dificuldade apresentada pelos alunos em perceber determinada grandeza como sendo representada pela área de um gráfico. Neste caso em específico, cada unidade de área representa o deslocamento sofrido pelo móvel no respectivo intervalo de tempo considerado.</p> <p>O item <i>i</i> explora a capacidade em retirar informações do gráfico através da simples leitura do valor da ordenada.</p> <p>O item <i>ii</i> explora a capacidade de retirar informações do gráfico analisando sua inclinação em diferentes pontos. A habilidade em decidir qual aspecto do gráfico deve ser observado (leitura da ordenada ou inclinação) também é trabalhada no exercício #3, utilizando um gráfico posição x tempo.</p> <p>Para solucionar o item <i>iii</i> o aluno deve perceber que cada quadrado corresponde a um deslocamento de 10 cm. Além disso, deve associar áreas acima do eixo <math>t = 0</math> s (áreas positivas) com deslocamentos positivos e áreas abaixo de tal eixo (áreas negativas) com deslocamentos também negativos. O aluno deve ver ainda que o movimento é inicialmente oscilatório, indicando que o móvel passará mais de uma vez pela posição <math>x = 120</math> cm.</p> <p>Para solucionar o item <i>iv</i> o aluno deve igualmente contar os quadrados e associá-los a deslocamentos positivos ou negativos. Fazendo isso, verá que a área negativa (cerca de 15 quadrados) não será suficiente para compensar área positiva (cerca de 15,5 quadrados). Portanto, o primeiro deslocamento no sentido positivo da trajetória é maior que o deslocamento em sentido inverso. Sendo assim, o móvel não se encontrará em <math>x = 0</math> cm.</p> <p>Os itens <i>iii</i> e <i>iv</i> exigem a interpretação do gráfico juntamente com a utilização de informações dadas de forma narrativa (<math>x = 10</math> cm em <math>t = 0</math> s), não sendo suficiente a memorização de procedimento específico para se encontrar deslocamentos.</p>
Referências	[McDermott et al., 1987]

**Tabela III.17.** Unidade 2: Cinemática Unidimensional – exercício #7

<b>Unidade 2–Exercício #7</b>	
Conceitos abordados	Elaboração de gráficos a partir de aparato experimental.
Comentários	<p>Este exercício aborda a dificuldade dos alunos em relacionar movimentos reais e seus respectivos gráficos. Foca também a dificuldade em representar velocidades negativas em um gráfico velocidade x tempo, bem como a representação de acelerações constantes em um gráfico aceleração x tempo.</p> <p>O sinal da aceleração não é imediatamente perceptível através da observação do aparato experimental, devendo ser inferido. Os alunos tendem a associar acelerações negativas com o objeto freando e positivas com o mesmo acelerando; não consideram, portanto, o caráter vetorial do conceito. Não há a percepção de que aceleração positiva/negativa pode implicar em aumento ou diminuição da velocidade, dependendo se esta última é positiva ou negativa. Outro erro comum é a associação da direção da aceleração com a direção do movimento (movimento para frente, logo aceleração positiva; movimento para trás, logo aceleração negativa).</p> <p>Para esboçar corretamente o gráfico posição x tempo os alunos devem adotar algum ponto do movimento como sendo a origem dos espaços. O ponto sugerido é aquele de onde parte a bola (ponto A).</p>
Referências	<p>[McDermott et al., 1987]</p> <p>[Rosenquist e McDermott, 1987]</p> <p>[Goldberg e Anderson, 1989]</p>

**Tabela III.18.** Unidade 2: Cinemática Unidimensional – exercício #8

<b>Unidade 2–Exercício #8</b>	
Conceitos abordados	Elaboração de aparato experimental a partir de gráficos.
Comentários	<p>Este exercício explora a elaboração de um aparato que reproduza o movimento apresentado em forma de gráfico.</p> <p>A representação é um processo de mão dupla. Implica na habilidade de elaborar um gráfico a partir de um movimento apresentado e vice-versa. Além disso, possuir competência em um dos processos não implica no domínio do processo inverso.</p> <p>Outra possível fonte de confusão seria a crença de que uma quantidade negativa de algo implicaria uma "menor quantidade" desse algo, levando os alunos a visualizar uma inclinação negativa abaixo do eixo <math>t = 0s</math> de um gráfico velocidade x tempo como movimento de frenagem, ao invés do aumento em módulo da velocidade no sentido contrário à trajetória.</p>
Referências	<p>[Rosenquist e McDermott, 1987]</p> <p>[Goldberg e Anderson, 1989]</p>

**Tabela III.19.** Unidade 2: Cinemática Unidimensional – exercício #9

<b>Unidade 2–Exercício #9</b>	
Conceitos abordados	Aceleração escalar.
Comentários	O foco deste exercício é fazer com que o aluno perceba a aceleração como a razão $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ . Para realizar corretamente o exercício é necessário que o aluno utilize os dados fornecidos para a parte horizontal do movimento (trecho 2) e encontre a velocidade média ao longo deste trecho. Como as duas bolas partem do repouso, a variação da velocidade é igual à velocidade final das bolas. Utilizando o intervalo de tempo fornecido para que cada bola desça o plano inclinado chega-se à conclusão que a bola A possui maior aceleração.
Referências	[Trowbridge e McDermott, 1981]

**Tabela III.20.** Unidade 2: Cinemática Unidimensional – exercício #10

<b>Unidade 2–Exercício #10</b>	
Conceitos abordados	Aceleração escalar.
Comentários	Ao se deparar com três gráficos parecidos, os alunos devem focar em suas diferenças, vendo que em cada gráfico é descrito um movimento diferente. Sendo assim, para responder corretamente ao exercício será necessário focar em diferentes aspectos de cada gráfico: inclinação (gráfico posição x tempo), leitura da ordenada (gráfico velocidade x tempo) e área entre o gráfico e o eixo $t = 0$ s (gráfico aceleração x tempo).
Referências	[McDermott et al., 1987]

### Unidade 3. Cinemática Vetorial

**Tabela III.21.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – exercício #1

<b>Unidade 3–Exercício #1</b>	
Conceitos abordados	Cinemática vetorial unidimensional.
Comentários	<p>O exercício tem como clara função o desenvolvimento e/ou aplicação das definições operacionais dos vetores posição, deslocamento e velocidade em uma dimensão.</p> <p>O item <i>i</i> tem como objetivo fazer com que o aluno adquira prática em escolher sistemas de referência. Neste caso não há nenhum sistema de referência privilegiado, podendo o aluno escolher qualquer ponto como origem.</p> <p>O item <i>ii</i> foca na representação do vetor posição da partícula dado um sistema de referência previamente escolhido.</p> <p>O item <i>iii</i> aborda claramente o conceito de deslocamento vetorial: <math>\vec{d} = \Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1</math>, e assim sucessivamente. É necessário que o aluno tenha aprendido a definição operacional de subtração de vetores, combinado com a definição de deslocamento acima.</p> <p>O item <i>iv</i> exige que o aluno conheça a definição operacional de velocidade média: <math>\vec{v}_{méd} = \Delta\vec{r}/\Delta t</math>.</p> <p>O enunciado cita claramente que o intervalo de tempo entre as posições sucessivas pode ser considerado como duas unidades de tempo. Portanto, pode-se assumir <math>\Delta t = 2\text{ s}</math> ou <math>\Delta t = 2\text{ min}</math>, etc. A partir de tal informação podemos representar os vetores velocidade média como sendo paralelos e tendo metade do módulo dos vetores deslocamento.</p> <p>O item <i>v</i> faz com que o aluno veja claramente que o movimento se dá na direção do vetor velocidade. Tal conclusão é importante para a cinemática vetorial bidimensional.</p> <p>Os itens <i>vi</i> e <i>vii</i> fazem com que o aluno, ao escolher um novo sistema de referência e repetir os procedimentos solicitados, veja que a única grandeza alterada foi a posição em relação à nova origem, permanecendo as outras inalteradas.</p> <p>Os itens <i>viii</i>, <i>ix</i> e <i>x</i> têm a função de fazer com que o aluno construa o vetor velocidade instantânea em um instante através do conceito de limite. Além disso, tal processo facilita a visualização da velocidade instantânea como uma grandeza vetorial que varia de ponto a ponto. Como consequência, o aluno vê que o corpo possui tal velocidade <i>em</i> um instante, e não <i>por</i> um instante.</p>
Referências	[McDermott et al., 2002a]

**Tabela III.22.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – exercício #2

<b>Unidade 3–Exercício #2</b>	
Conceitos abordados	Cinemática vetorial unidimensional.
Comentários	<p>O exercício tem como objetivo o desenvolvimento e/ou aplicação da definição operacional de vetor aceleração média, abordando também conceitos de cinemática em uma dimensão.</p> <p>O item <i>i</i> exige que o aluno domine a definição operacional de subtração de vetores, devendo ainda avaliar as magnitudes dos vetores de acordo com os vetores dados.</p> <p>O item <i>ii</i> exige o emprego da definição operacional de aceleração: <math>\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}</math>. Além disso, a aceleração de cada carro possui a mesma direção e sentido de sua respectiva variação de velocidade.</p> <p>O item <i>iii</i> exige a comparação do módulo das acelerações de cada carro. Como o intervalo de tempo é o mesmo para ambos os carros, a razão das acelerações é igual à razão das variações de velocidade. Como <math>\Delta\vec{v}</math> do carro A é maior em módulo, este sofre maior aceleração.</p>
Referências	[McDermott et al., 2002b]

**Tabela III.23.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – exercício #3

<b>Unidade 3–Exercício #3</b>	
Conceitos abordados	Cinemática vetorial unidimensional.
Comentários	<p>O objetivo deste exercício é a percepção por parte do aluno da constância do vetor aceleração durante todo o movimento da bola através da aplicação da definição operacional de aceleração média.</p> <p>O item <i>i</i> aborda a discussão já feita sobre velocidade instantânea, supondo que o aluno já tenha entendido tal definição.</p> <p>O item <i>ii</i> exige a aplicação direta da definição de aceleração média. O mais importante é a percepção de que a aceleração terá mesma direção e sentido do vetor variação de velocidade.</p> <p>O item <i>iii</i> aborda claramente o ponto de retorno. Grande parte dos alunos apresenta muita dificuldade em tratar a aceleração no ponto de retorno. Dentre as causas para as dificuldades estão o fato de não usarem um vetor nulo para representar a velocidade instantânea no ponto de retorno e o fato de assumirem que a aceleração é nula em tal ponto, demonstrando assim uma confusão entre os conceitos de velocidade e aceleração, bem como possivelmente uma incorreta definição operacional de aceleração média, utilizando <math>\vec{a} = \frac{\vec{v}}{t}</math> em lugar de <math>\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}</math>.</p> <p>O item <i>iv</i> mostra ao aluno que a aceleração mantém suas características durante todo o movimento, tanto durante a subida quanto na descida.</p>
Referências	[Shaffer e McDermott, 2005]

**Tabela III.24.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – exercício #4

<b>Unidade 3–Exercício #4</b>	
Conceitos abordados	Velocidade vetorial.
Comentários	<p>O objetivo deste exercício é fazer com que o aluno estenda os conceitos de velocidade instantânea a qualquer trajetória, observando que tal vetor será sempre tangente à mesma em seus diferentes pontos.</p> <p>O item <i>i</i> já foi trabalhado nos exercícios anteriores.</p> <p>O item <i>ii</i> também já foi trabalhado em uma dimensão. Em duas dimensões o aluno deve notar que o vetor velocidade média sempre estará na direção dos pontos inicial e final do intervalo considerado, com seu módulo dependendo do próprio intervalo de tempo.</p> <p>O item <i>iii</i> faz com que o aluno aplique o processo de limite para encontrar as características do vetor velocidade instantânea em A, ao passo que os pontos tomados na trajetória se tornam cada vez mais próximos.</p> <p>No item <i>iv</i>, ao contrário do movimento unidimensional, a velocidade instantânea tem sua direção e sentido variando de ponto a ponto, sendo sempre tangente à trajetória.</p> <p>O item <i>v</i> consolida a generalização para todos os pontos, levando o aluno a concluir que em qualquer ponto da trajetória o vetor velocidade instantânea sempre será tangente a ela.</p>
Referências	[McDermott et al., 2002a]

**Tabela III.25.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – exercício #5

<b>Unidade 3–Exercício #5</b>	
Conceitos abordados	Aceleração no movimento circular uniforme.
Comentários	<p>O objetivo é que o aluno veja, guiado pelas instruções dadas e aplicando a definição operacional do vetor aceleração instantânea, que em um movimento circular uniforme este vetor encontra-se na direção radial da trajetória, apontando para o centro. Gera ainda oportunidade para que o aluno crie o hábito de representar vetores em coordenadas polares, utilizando suas componentes radial e tangencial.</p> <p>O item <i>i</i> aborda o fato de o vetor velocidade instantânea ser tangente à trajetória em cada ponto da mesma, conclusão já obtida no exercício anterior.</p> <p>O item <i>ii</i> aplica a definição operacional de aceleração vetorial para encontrar a aceleração média em um dado intervalo. Solicita ainda ao aluno que a expresse em termos das coordenadas polares do vetor.</p> <p>Os itens <i>iii</i> e <i>iv</i> utilizam a ideia de limite como um processo para que o aluno conclua que o vetor aceleração instantânea em determinado ponto é perpendicular ao vetor velocidade instantânea, ou seja, é um vetor radial e que aponta para o centro da trajetória.</p> <p>O item <i>iv</i> pede ainda que o aluno descreva tal vetor utilizando as coordenadas polares.</p>
Referências	[Flores e Kanim, 2004]

**Tabela III.26.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – exercício #6

<b>Unidade 3–Exercício #6</b>	
Conceitos abordados	Aceleração vetorial.
Comentários	<p>Este exercício foca na habilidade por parte do aluno em perceber que um vetor aceleração que não seja nem paralelo nem perpendicular ao vetor velocidade terá um efeito muito peculiar sobre o movimento. A componente do vetor aceleração paralela ao vetor velocidade age sobre o <i>módulo</i> deste vetor, ao passo que sua componente perpendicular fará com que sejam alteradas a <i>direção</i> e o <i>sentido</i> do vetor velocidade. Tal percepção se faz muito útil para auxiliar aos alunos quando os mesmos estudarem movimentos de corpos rígidos, quando um torque perpendicular ao vetor momento angular fará com que o corpo precesse em torno de um eixo.</p> <p>O item <i>i</i> aguça a noção intuitiva do aluno de como o vetor velocidade, e conseqüentemente o movimento do corpo, será alterado devido a um dado vetor aceleração.</p> <p>O item <i>ii</i> faz com que o aluno perceba a possibilidade de se decompor o vetor aceleração em duas componentes: uma paralela ao vetor velocidade e outra perpendicular a tal vetor, facilitando assim a análise do movimento.</p> <p>O item <i>iii</i> faz com que o aluno compare suas previsões feitas no item <i>i</i> com suas conclusões acerca da variação do vetor velocidade, dadas as componentes do vetor aceleração. Faz com que o aluno perceba finalmente que, em um movimento circular, um vetor aceleração na direção radial será responsável pela manutenção do movimento circular, enquanto que uma componente tangencial será responsável por alterar o módulo do vetor velocidade.</p>
Referências	[McDermott et al., 2002b]

**Tabela III.27.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – exercício #7

<b>Unidade 3–Exercício #7</b>	
Conceitos abordados	Aceleração vetorial.
Comentários	<p>Este exercício é a consolidação da habilidade tratada no exercício anterior.</p> <p>O item <i>i</i> pede que o aluno represente o vetor velocidade instantânea nos pontos tratados. Tal vetor já foi discutido e é sabido que o mesmo é tangente à trajetória. No entanto, deve-se levar em conta que a velocidade escalar do carro varia conforme descrito no enunciado do problema. Tal variação em módulo deve ser levada em consideração, assim como a direção e sentido.</p> <p>O item <i>ii</i> aborda a definição operacional de aceleração instantânea. Sem a aplicação desta definição não será possível resolver o problema. Desta forma, o aluno percebe que nos momentos inicial (A) e imediatamente anterior ao final (F) a aceleração deve possuir somente componentes tangenciais para retirá-lo do repouso ou trazê-lo novamente ao repouso. Em todos os outros instantes o vetor aceleração</p>

	<p>possui uma componente radial (para percorrer a trajetória curva) e em alguns instantes também possui uma componente tangencial (responsável pelo aumento ou diminuição do módulo do vetor velocidade). Este item solicita que sejam tomados pontos médios entre cada par de instantes, com a finalidade de evitar o surgimento de dúvidas quanto à variação ou não do módulo do vetor velocidade. O foco deste item é unicamente levar o aluno a concluir que nos intervalos onde há variação do módulo do vetor velocidade, deve necessariamente haver uma componente tangencial do vetor aceleração.</p> <p>O item <i>iii</i> reitera e faz com que o aluno explique com suas palavras o foco do exercício, citado na descrição do item anterior.</p>
Referências	[McDermott et al., 2002b]

**Tabela III.28.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – exercícios #8 ao #11

<b>Unidade 3–Exercícios #8, #9, #10 e #11</b>	
Conceitos abordados	Representações vetoriais do movimento; manipulação de vetores.
Comentários	<p>Os exercícios #8 e #9 são complementares: um pede que o aluno encontre a evolução temporal de determinado vetor e o seguinte pede que sejam encontradas tais informações em instantes anteriores ou posteriores, dadas as condições em determinado instante de tempo. O exercício #8 foca ainda na diferenciação entre <i>posição</i> e <i>deslocamento</i> de um corpo como grandezas vetoriais distintas. O exercício #9 aborda a diferença entre <i>posição</i> e <i>trajetória</i> de um objeto.</p> <p>Os exercícios #10 e #11, embora tenham descrições parecidas, suas resoluções são completamente diferentes. Para se encontrar a trajetória no exercício #10, é conveniente adotar um sistema cartesiano com origem no ponto de origem de ambos os vetores e eixo <math>x</math> direcionado positivamente no sentido da aceleração. Sendo assim, decompõe-se o vetor velocidade nos eixos <math>x</math> e <math>y</math> e pode-se perceber que o movimento será parabólico.</p> <p>Para se encontrar a trajetória no exercício #11 é conveniente descrever o movimento em coordenadas polares, onde novamente o ponto de encontro dos dois vetores será a origem. Neste novo caso, decompõe-se a aceleração em componentes paralela e perpendicular ao vetor aceleração, facilitando a visualização de um movimento acelerado em espiral. O movimento se dá em espiral pelo fato de o módulo da velocidade aumentar e a componente radial da aceleração se manter constante. Como consequência, o raio da órbita deve também aumentar para manter a constância da componente radial da aceleração.</p>
Referências	[Aguirre, 1988]

**Tabela III.29.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – exercícios #12 e #13

<b>Unidade 3–Exercícios #12 e #13</b>	
Conceitos abordados	Movimento relativo.
Comentários	<p>Os dois exercícios têm a finalidade de fazer com que o aluno perceba as diferentes formas de descrição do movimento, dependendo do referencial adotado.</p> <p>O exercício #12 aborda a concepção prévia dos alunos segundo a qual estes afirmam que a velocidade é uma característica intrínseca do móvel, independentemente de qualquer referencial. As prováveis razões para tal seriam (1) o fato de os alunos enxergarem a velocidade mais naturalmente relacionada com as forças que agem sobre determinado corpo e (2) devido à dificuldade em diferenciar movimentos "reais" de "aparentes".</p> <p>O exercício #13 aborda os conceitos de deslocamento e velocidade relativos de forma quantitativa, além de praticar de forma concreta a habilidade de alternar entre referenciais.</p> <p>A primeira metade do exercício aborda a concepção prévia segundo a qual alunos associam o fato de que quando dois móveis estão na mesma posição, eles devem ter a mesma velocidade. A segunda metade do exercício introduz de forma concreta a transformação galileana de velocidades, que relaciona a velocidade de corpos que se movem em relação a diferentes referenciais.</p>
Referências	<p>[McDermott et al., 2002a]</p> <p>[McDermott et al., 2002b]</p> <p>[Aguirre, 1988]</p> <p>[Trowbridge e McDermott, 1980]</p>

**Tabela III.30.** Unidade 3: Cinemática Vetorial – exercício #14

<b>Unidade 3–Exercício #14</b>	
Conceitos abordados	Movimento relativo.
Comentários	<p>Este exercício é relativamente semelhante ao exercício #13, pois também aborda a concepção prévia dos alunos segundo a qual a trajetória de um corpo seria uma propriedade intrínseca do móvel, sendo independente de qualquer sistema de referência. Tal concepção prévia baseia-se no fato de estarmos naturalmente acostumados ao nosso sistema de referência natural (solo), ao ponto de inconscientemente descrevermos qualquer movimento em relação a ele. Este exercício mostra que diferentes observadores podem descrever o mesmo movimento de diferentes formas. Este caso estende-se àquele abordado no exercício anterior, aplicando o conceito de composição de velocidades em duas dimensões.</p>
Referências	<p>[Bowden et al., 1992]</p> <p>[Aguirre, 1988]</p>

## Unidade 4. Dinâmica

**Tabela III.31.** Unidade 4: Dinâmica – exercício #1

<b>Unidade 4–Exercício #1</b>	
Conceitos abordados	Segunda Lei de Newton.
Comentários	<p>Este exercício aborda situações observadas no cotidiano ou em laboratório. O principal objetivo deste exercício é fazer com que o aluno, utilizando a habilidade desenvolvida na lista anterior para encontrar o vetor aceleração média em determinado intervalo de tempo, veja que a existência de tal vetor implica a existência de uma força resultante não nula que aponta na mesma direção deste, conforme a Segunda Lei de Newton.</p> <p>Dentre todos os movimentos abordados, somente no movimento da bola A não há força resultante. Como consequência, o movimento é uniforme.</p> <p>O movimento da bola B é uniformemente retardado (aceleração negativa). Portanto, a força resultante aponta no sentido contrário ao do movimento.</p> <p>O movimento da bola C é uniformemente acelerado, simulando a ação da força gravitacional. A força resultante aponta no sentido do movimento.</p> <p>O movimento da bola D é circular uniforme. Como consequência, há uma força resultante que aponta em direção ao centro da trajetória (resultante centrípeta), cujo módulo é constante no tempo.</p> <p>Para os movimentos das bolas B, C e D, o módulo da força resultante pode ser encontrado pela própria Segunda Lei de Newton, multiplicando o módulo da aceleração pela massa de cada bola.</p> <p>O último item aborda a concepção prévia apresentada pelos alunos, a qual teria como principais características: (1) qualquer movimento (inclusive aquele com velocidade constante) necessita de uma força resultante que atue na direção do movimento (como causa); (2) tais forças inventadas são especialmente comuns em casos onde o movimento observado se dá em sentido contrário a uma força que claramente se opõe a ele (plano inclinado subindo); (3) os alunos tendem a crer que esta força aumenta ou diminui no tempo para explicar variações na velocidade dos corpos.</p>
Referências	[Clement, 1982]

**Tabela III.32.** Unidade 4: Dinâmica – exercício #2

<b>Unidade 4–Exercício #2</b>	
Conceitos abordados	Segunda Lei de Newton.
Comentários	<p>Este exercício é relacionado ao anterior.</p> <p>Mesmo sendo explicitado no enunciado do exercício, os alunos tendem a assumir a existência de uma força na direção do movimento entre A e B. Por este motivo, afirmariam que a trajetória seguida pelo foguete após o desligamento dos motores em C será novamente em linha reta para a direita, como se entre B e C o foguete seguisse a trajetória "resultante" combinando a força "inventada" (para a direita) e aquela impressa ao foguete (para baixo).</p> <p>Outro ponto abordado é a tendência em assumir uma mudança repentina e instantânea na direção do movimento devido à aceleração impressa, aparentemente como consequência da mudança instantânea da força aplicada.</p>
Referências	[Clement, 1982]

**Tabela III.33.** Unidade 4: Dinâmica – exercício #3

<b>Unidade 4–Exercício #3</b>	
Conceitos abordados	Diagrama de corpo livre.
Comentários	<p>Este exercício tem 3 objetivos principais:</p> <p>(1) a correta visualização de como são desenvolvidos diagramas de corpos livres, bem como quais forças devem ser nele representadas. Tal objetivo se faz necessário pela vasta aplicabilidade destes diagramas na resolução de problemas sobre movimento dos corpos, auxiliando na identificação de situações de equilíbrio ou existência de acelerações;</p> <p>(2) a visualização por parte do aluno que objetos inanimados são capazes de exercer forças sobre outros corpos; tal característica não é exclusiva de seres vivos. Foi verificado que os alunos não visualizam o fato de seres inanimados exercerem forças sobre outros corpos, as chamadas "forças passivas" que ajustam sua magnitude em resposta a uma força aplicada. Há uma forte tendência em enxergarem tais corpos inanimados como sendo "obstáculos" ou "barreiras" cuja função é impedir o movimento ou mudar sua direção, ao invés de "agentes" de forças que agem sobre o corpo em análise; (3) a correta identificação dos pares ação-e-reação de cada força.</p>
Referências	<p>[Minstrell, 1982]</p> <p>[McDermott, 1984]</p> <p>[Halloun e Hestenes, 1985]</p>

**Tabela III.34.** Unidade 4: Dinâmica – exercícios #4 e #5

<b>Unidade 4–Exercícios #4 e #5</b>	
Conceitos abordados	Diagrama de corpo livre.
Comentários	<p>O objetivo principal destes exercícios é a consolidação da habilidade em se desenhar diagramas de corpo livre para diferentes situações físicas. Outro ponto a ser salientado é a possibilidade de representação de todas as forças como sendo aplicadas no CM do corpo, embora deva haver o discernimento do tipo de cada força específica (contato ou ação à distância).</p> <p>No exercício #4 os alunos devem avaliar a magnitude das forças de acordo com as informações de cada movimento em específico (repouso ou movimento acelerado), bem como avaliar as forças que atuam em cada situação. Ou seja, após inferir as características da força resultante, os alunos podem deduzir as características de cada força isoladamente. Outro ponto importante neste exercício é a abordagem da queda livre de 3 formas distintas: queda retilínea, movimento parabólico durante a subida e no ponto mais alto da trajetória. Em todos os casos a força resultante aponta para baixo (força peso), sendo esta a única força que age sobre a pedra. Tal abordagem repetitiva do caso da queda livre é importante para estimular os alunos a abandonar a ideia de ímpeto ao tratarem do movimento de projéteis.</p> <p>O exercício #5 tem a mesma finalidade do exercício #4. No entanto, são abordados casos de movimento circular uniforme. Como consequência, sempre haverá uma força resultante não nula (força centrípeta) dirigida radialmente para o centro da trajetória. Os alunos devem perceber que tal força representa a <i>resultante</i> das demais forças aplicadas ao corpo, não sendo uma força "extra" agindo sobre o corpo.</p>
Referências	[Court, 1999]

**Tabela III.35.** Unidade 4: Dinâmica – exercícios #6 ao #10

<b>Unidade 4–Exercícios #6, #7, #8, #9 e #10</b>	
Conceitos abordados	Tensões em cordas.
Comentários	<p>Para uma abordagem eficaz do tema, algumas elucidacões devem ser feitas anteriormente à apresentação da Máquina de Atwood em sala. Os alunos teriam dificuldades em quatro pontos-chave do tema, a saber: (1) isolar apropriadamente os corpos (diagrama de corpo livre) e consequentemente escolher sistemas convenientes para tratar o problema; (2) identificar corretamente as forças presentes; (3) identificar corretamente os pares ação-e-reação e (4) reconhecer que é a força resultante em um sistema que determina sua aceleração.</p> <p>O exercício #6 tem como foco a identificação por parte do aluno de que, em um sistema onde não há movimento interno (relativo ao CM), todas as suas partes têm a mesma velocidade e aceleração. Embora poucos alunos apresentem problemas relativos a este ponto específico, é importante explicitá-lo uma vez que seu esclarecimento é imprescindível à discussão da Máquina de Atwood.</p> <p>O item <i>iv</i> deste exercício faz com que o aluno perceba que ambos os sistemas podem ser tratados de forma semelhante, constituídos por uma única massa equivalente à soma das massas de todos os blocos e acelerada por uma única força externa impressa pela mão.</p> <p>Como já foi reconhecido por eles que as acelerações de ambos os blocos são idênticas em cada caso, pode-se utilizar o procedimento descrito para encontrar a aceleração de cada parte do sistema (cada bloco).</p> <p>O exercício #7 é de grande importância, pois faz com que o aluno desenvolva uma definição operacional para o conceito de "corda sem massa", que é amplamente utilizado, mas pouco compreendido. Primeiro é apresentado ao aluno o caso de uma corda real que possui determinada massa não desprezível em relação aos blocos. Um dos pontos chave deste exercício é a percepção por parte do aluno que em uma corda "sem massa" as forças exercidas sobre a corda em ambas as extremidades têm o mesmo módulo, ao contrário do caso quando a massa da corda deve ser levada em consideração.</p> <p>O item <i>i</i> solicita que os alunos façam um diagrama de corpo livre para os três corpos envolvidos no exercício. Deve-se tomar cuidado, uma vez que a corda possui massa <math>m</math>; portanto deve-se considerar a força gravitacional sobre a mesma. Isto fará com que as forças aplicadas pela corda aos blocos (e as forças aplicadas pelos blocos sobre a corda) tenham uma componente na vertical, fazendo com que a resultante seja inclinada.</p> <p>O item <i>ii</i> pede que sejam identificados os pares ação-e-reação. Além das forças Peso aplicada aos corpos e a força Normal aplicada aos blocos, há também as forças internas do sistema, que são aquelas exercidas por um corpo sobre o outro. Tais pares são compostos pelas forças que cada bloco exerce sobre a extremidade da corda e vice-</p>

versa.

O item *iii* pede para que os alunos listem as forças por eles identificadas. Há uma tendência em não se levar em consideração a força que a corda exerce sobre o bloco A. Esta é uma boa oportunidade para se discutir a existência de tal força. Tal discussão ajuda ainda a ver que a força externa deve ser capaz não só de acelerar o bloco A, mas também "superar" a força com que a corda o puxa para trás, percebendo que a força externa deve, portanto, ter maior módulo. Além disso, é esperado que os alunos afirmem que a força com que a corda é puxada pelo bloco A tem mesmo módulo daquela com que é puxada pelo bloco B. Tal afirmação baseia-se fortemente na tendência em se tratar unicamente de "cordas sem massa" em exercícios ao longo do curso. Logo, costuma-se memorizar que as forças aplicadas a cada extremidade da corda são sempre iguais em módulo.

O item *iv* faz com que os alunos raciocinem exclusivamente analisando a equação do movimento da corda na direção horizontal. Como a corda possui massa  $m$  e está acelerada, deve haver uma força resultante na mesma direção e sentido da aceleração. Portanto, a força exercida pelo bloco A deve superar em módulo aquela exercida pelo bloco B. Este fato mostra que a força exercida pelo bloco A não é integralmente transmitida através da corda para o bloco B.

O item *v* exige que o aluno perceba que uma corda real não transmite integralmente a força exercida em uma extremidade à outra, com base nos resultados dos itens anteriores. Pela equação do movimento da corda percebe-se que quanto maior a massa da mesma, maior será a força necessária para acelerá-la em conjunto com o sistema, sendo, portanto, menor a força que será transmitida à outra extremidade.

O item *vi* introduz a definição operacional de "corda sem massa" através da aproximação de sua massa ao valor zero. Utilizando a Segunda Lei de Newton, percebe-se que neste caso as forças exercidas pelos blocos têm mesmo módulo, fazendo com que os alunos percebam que nenhuma força resultante é necessária para acelerar uma corda sem massa.

O exercício #8 tem como finalidade o desenvolvimento de uma definição operacional do conceito de "tensão em uma corda", utilizando como base o exemplo do exercício anterior, bem como a definição de "corda sem massa" já discutida. Há várias complicações linguísticas que impedem a correta formulação de uma definição operacional para "tensões em cordas", causando grande confusão aos alunos. Muitos possuem apenas uma noção vaga e indiferenciada de "tensão", como sendo uma grandeza tanto interna quanto externa à corda. Portanto, torna-se imprescindível explicitar a relação entre a tensão em uma corda e as forças que tal corda exerce sobre corpos aos quais está conectada.

O item *i* pede que o aluno considere dois cortes feitos ao longo da corda e, em cada segmento específico da corda, identifique as forças listadas de acordo com a descrição de cada uma.

No item *ii* o aluno deve utilizar a terceira Lei de Newton para perceber que os módulos de  $T_1$  e  $T'_1$  são iguais, assim como os módulos de  $T_2$  e

$T'_2$ . Este passo é importante, pois ajudará a fazer o paralelo com as componentes horizontais das forças listadas no exercício anterior. Além disso, neste item é introduzida a definição operacional de "tensão em uma corda", como sendo o módulo da força que a corda exerce sobre o corpo ao qual se conecta. Sendo assim, a grandeza "tensão" é, por definição, uma grandeza *escalar*.

O item *iii* pede que o aluno escreva a segunda Lei de Newton para o segmento  $C'$  da corda, notando que sua massa é  $m'$ . Assim como no exercício anterior, verá que os módulos de  $T_1$  e  $T_2$  não são iguais, uma vez que precisam acelerar o pedaço  $C'$  da corda. No entanto, a diferença  $T_1 - T_2$  será menor, uma vez que  $m' < m$ . Assim que os cortes se aproximarem dos corpos conforme descrito no item a, a massa  $m'$  do novo segmento  $C'$  aumentará mais e mais. Consequentemente, a diferença  $T_1 - T_2$  deverá se adequar a este aumento, uma vez que a aceleração do conjunto deve permanecer constante. Logo, os valores das tensões ao longo da corda não são constantes. O ponto chave a ser percebido aqui não é se tais valores aumentam ou diminuem, uma vez que o que está sendo levado em consideração é a diferença entre eles, mas sim o fato de não serem constantes ao longo da corda. Tal conclusão pode ser obtida tomando-se um ponto  $P_1$  mais próximo ao bloco A e mantendo-se o ponto  $P_2$  fixo. A massa  $m'$  aumentará, portanto  $T_1 - T_2$  também deverá aumentar. Como  $T_2$  é fixo (o ponto  $P_2$  continuou fixo),  $T_1$  deverá assumir um valor maior para compensar pelo aumento.

O item *iv* transfere os pontos  $P_1$  e  $P_2$  à junção entre a corda e os blocos A e B, respectivamente. Portanto, pede-se para fazer um paralelo com as forças já listadas no item *iii* do exercício anterior. Ao reescrever a segunda Lei de Newton utilizando esta nova notação, deve-se utilizar a massa total  $m$  da corda.

O item *v* utiliza novamente a aproximação da massa da corda ao valor zero. Assim como no item *vi* do exercício anterior, percebe-se que ao fazer tal aproximação, tem-se que o valor da tensão em cada extremidade permanece igual em módulo, uma vez que não é necessária força alguma para acelerar uma corda de massa igual a zero. No entanto, nesta aproximação temos que o valor da tensão deverá permanecer constante ao longo de toda a corda. Tal conclusão pode ser obtida adotando-se um ponto  $P_1$  um pouco mais à esquerda da extremidade e escrevendo a segunda Lei de Newton para a massa  $m'$  da corda, mantendo o ponto  $P_2$  junto à extremidade esquerda. Como  $m'$  também será zero,  $T_1 - T_2$  será zero. Ou seja,  $T_1 = T_2$ . Pode-se aplicar tal procedimento indefinidamente ao longo da corda para se chegar à conclusão que em uma corda inextensível de massa igual a zero (corda ideal), o valor da tensão é constante ao longo de toda sua extensão.

O exercício #9 tem como foco a máquina de Atwood em sua forma "original", com dois blocos de mesma massa. Parte dos alunos afirmaria que o bloco mais próximo do chão seria mais pesado.

No item *i* o aluno deve simplesmente prever qual será o movimento do sistema sem utilizar álgebra.

No item *ii* deve desenhar um diagrama de corpo livre para cada bloco, tomando cuidado com a magnitude dos vetores. Como o sistema deve permanecer em repouso, todos os vetores devem possuir a mesma magnitude.

No item *iii* pode-se adotar um sistema orientado positivamente para cima ou para baixo. Sendo assim, o aluno deve escrever as equações da Segunda Lei de Newton para cada bloco em sua forma vetorial e em função do vetor unitário do sistema coordenado (*i*, *j* ou *k* dependendo do eixo coordenado adotado).

No item *iv* o aluno deve aplicar o que já aprendeu sobre cordas ideais (mesma tensão em suas extremidades e o conjunto se move com a mesma aceleração) e os dados do enunciado do problema (massas iguais, logo forças gravitacionais de mesma intensidade) para encontrar o resultado, utilizando as equações do item anterior, que a aceleração do conjunto é nula. De posse desta informação podem inferir que a força peso e a tensão na corda têm a mesma intensidade (também utilizando as equações ou pela definição  $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$ ).

O exercício #10 é análogo ao anterior, com a diferença de que um dos blocos foi substituído por outro de maior massa.

O item *i* pede que o aluno preveja o movimento resultante sem utilizar álgebra.

O item *ii* pede que o aluno compare o módulo das forças resultantes que agem nos blocos. Os alunos tenderiam a afirmar que ambas as forças terão o mesmo módulo, uma vez que identificam em uma primeira análise que há o peso do próprio corpo na direção vertical para baixo e o peso do outro corpo puxando para cima. Como consequência, argumentam que o bloco mais leve (A) terá maior aceleração que o bloco B (mais pesado). No entanto, não levam em consideração o argumento cinemático que já discutiram no exercício #6, segundo o qual blocos ligados por um fio ideal movem-se com a mesma aceleração. Em decorrência deste argumento, as forças resultantes que agem nos blocos devem ser diferentes.

O item *iii* pede que os alunos desenhem diagramas de corpo livre para cada bloco em separado. O erro mais comum nesta tarefa seria a indicação de magnitudes diferentes para as forças que a corda exerce sobre os blocos A e C.

No item *iv* pode-se adotar um sistema orientado positivamente para cima ou para baixo. Sendo assim, o aluno deve escrever as equações da Segunda Lei de Newton para cada bloco em sua forma vetorial e em função do vetor unitário do sistema coordenado.

No item *v* o aluno deve aplicar o que já aprendeu sobre cordas ideais (mesma tensão em suas extremidades e o conjunto se move com a mesma aceleração) e os dados do enunciado do problema (massas diferentes, logo forças gravitacionais diferentes) para encontrar a aceleração do sistema. Feito isso, encontrarão que a tensão na corda é maior que o peso do bloco C, porém menor que o peso do bloco A.

No item *vi*, uma vez encontradas a aceleração e a tensão na corda, verão que a força resultante que age em cada um dos blocos tem

	módulo diferente, ao contrário do que haveriam previamente afirmado. Tal fato pode ser entendido utilizando o mesmo argumento utilizado inicialmente, sendo que a grandeza que permanece igual para ambos os blocos é a aceleração, devido à restrição cinemática (ligação por uma corda inextensível).
Referências	[McDermott et al., 1994] [McDermott et al., 2002a] [Champagne et al., 1980]

## Unidade 5. Trabalho e Energia

**Tabela III.36.** Unidade 5: Trabalho e Energia – exercícios #1 e #2

<b>Unidade 5–Exercícios #1 e #2</b>	
Conceitos abordados	Trabalho de uma força sobre um corpo.
Comentários	<p>O objetivo destes exercícios é fazer com que os alunos desenvolvam uma definição operacional do conceito de trabalho de uma força sobre determinado corpo.</p> <p>O exercício #1 foca no caso quando a força e o deslocamento são colineares (trabalho de magnitude constante). No entanto, apresenta uma forma de identificar quando tal trabalho será positivo ou negativo. Ao final do exercício o aluno é levado a concluir que as forças possuem mesmo módulo, direção, porém sentidos contrários. Algebricamente tais forças se relacionariam por <math>\vec{F}_{BM} = -\vec{F}'_{BM}</math>.</p> <p>O exercício #2 considera casos quando a força não é paralela ao deslocamento.</p> <p>No item <i>i</i> o aluno é levado a se questionar com relação à magnitude do trabalho nesta nova situação (não paralela) mas sem entrar em maiores detalhes num primeiro momento.</p> <p>No item <i>ii</i> o aluno escreve a força <math>\vec{F}'_{BA}</math> em suas projeções paralela e perpendicular ao deslocamento.</p> <p>No item <i>iii</i> o aluno relaciona o módulo de tais projeções com o módulo da força original <math>\vec{F}'_{BA}</math> através de <math>\sin \theta</math> ou <math>\cos \theta</math>. Além disso, é levado a ver que a projeção responsável pela efetiva realização do trabalho ao longo de tal deslocamento é a projeção paralela a ele.</p> <p>No item <i>v</i> o aluno é levado a raciocinar em termos gerais, pois já chegou à conclusão de que o trabalho de uma força sobre um corpo ao longo de um deslocamento qualquer pode ser expresso por <math>W = Fd \cos \theta</math> ou <math>W = \vec{F} \cdot \vec{d}</math>. Sendo assim, o trabalho será máximo quando a força e o deslocamento forem paralelos e tiverem mesmo sentido, mínimo quando forem paralelos, porém tiverem sentidos contrários, e nulo em dois casos distintos: (1) quando qualquer um dos vetores for nulo ou (2) quando forem não nulos e perpendiculares entre si.</p>
Referências	[McDermott et al., 2002a]

**Tabela III.37.** Unidade 5: Trabalho e Energia – exercício #3

<b>Unidade 5–Exercício #3</b>	
Conceitos abordados	Trabalho de uma força sobre um corpo.
Comentários	<p>Este exercício aplica a definição operacional de trabalho desenvolvida nos exercícios anteriores a situações concretas. Espera-se ainda que o aluno desenvolva a habilidade de visualizar forças e deslocamentos no espaço. Tal habilidade é extremamente importante para concluir que forças centrípetas não realizam trabalho em movimentos circulares uniformes.</p>

	<p>O aluno é guiado, utilizando o processo de decomposição de forças em projeções paralelas aos vetores deslocamento desenvolvido na questão anterior, a concluir que determinadas forças não realizam trabalho porque, a todo momento, permanecem perpendiculares ao vetor deslocamento infinitesimal, como é o caso das forças normal de contato (quando corpos se movem sobre superfícies) e resultante centrípeta (em movimentos circulares uniformes). Outra conclusão importante é que a força peso pode ou não realizar trabalho, dependendo das configurações de cada problema.</p> <p>Ao final do exercício o aluno é levado a concluir e externar o raciocínio supracitado.</p>
Referências	[McDermott et al., 2002a]

**Tabela III.38.** Unidade 5: Trabalho e Energia – exercício #4

<b>Unidade 5–Exercício #4</b>	
Conceitos abordados	Trabalho total realizado sobre um corpo.
Comentários	<p>O objetivo deste exercício é fazer com que o aluno perceba que o conceito de trabalho de uma força individual sobre uma partícula independe da quantidade de forças que agem sobre a partícula, desde que o deslocamento permaneça sempre o mesmo. Além disso, visa a criação da definição operacional do conceito de trabalho total realizado sobre determinado corpo como sendo a soma dos trabalhos individuais de todas as forças que agem sobre este corpo.</p> <p>O aluno deve a princípio comparar os trabalhos realizados pela mão que empurra o bloco em ambas as situações. Logo após, deve comparar o trabalho total realizado sobre o bloco em cada situação.</p> <p>Ao comparar as forças horizontais que agem sobre o bloco em cada situação específica o aluno vê que a mão realiza o mesmo trabalho em ambas as situações, mesmo havendo uma força que se contrapõe ao movimento executado pela corda.</p> <p>Por fim o aluno vê que o efeito da força exercida pela corda implica em um trabalho total sobre a partícula menor na segunda situação, embora o trabalho realizado pela mão seja o mesmo.</p>
Referências	[McDermott et al., 2002a]

**Tabela III.39.** Unidade 5: Trabalho e Energia – exercício #5

<b>Unidade 5–Exercício #5</b>	
Conceitos abordados	Trabalho de uma força sobre um corpo.
Comentários	<p>Neste exercício há dois objetivos principais.</p> <p>O primeiro é fazer com que o aluno perceba claramente que o deslocamento que deve ser levado em consideração ao se encontrar o trabalho de determinada força sobre um corpo é aquele sofrido pelo ponto de aplicação da força. Sendo assim, embora o bloco realize trabalho positivo sobre a mola, a parede realizará trabalho nulo sobre a mola. Tal se dará, pois, ao calcularmos o trabalho destas forças,</p>

	<p>devemos levar em consideração o deslocamento do ponto específico de aplicação de cada força: o vetor deslocamento da extremidade esquerda da mola é igual ao vetor deslocamento do bloco; por outro lado, o ponto de contato entre a parede e o bloco sofre deslocamento nulo durante todo o processo.</p> <p>O segundo objetivo é abordar a dificuldade dos alunos segundo a qual o trabalho de uma força seria dependente do sistema coordenado, ou seja, caso a força esteja no sentido positivo do eixo do sistema coordenado, o trabalho seria positivo. Analogamente, caso a força esteja no sentido negativo deste eixo o trabalho seria negativo.</p>
Referências	<p>[McDermott et al., 2002a] [Lindsey et al., 2009]</p>

**Tabela III.40.** Unidade 5: Trabalho e Energia – exercício #6

<b>Unidade 5–Exercício #6</b>	
Conceitos abordados	Teorema trabalho – energia cinética.
Comentários	<p>O objetivo deste exercício é fazer com que o aluno adquira uma interpretação geral do teorema trabalho-energia cinética, ou seja, o trabalho realizado sobre determinado corpo é numericamente igual a sua variação de energia cinética.</p> <p>Este tipo de dificuldade é extremamente resistente a mudanças e, caso não seja enfrentada logo no primeiro contato dos alunos com o tema, há grande probabilidade de se estender ao longo da vida acadêmica dos alunos, sem que estes tomem ciência de sua existência. Esta dificuldade impede ainda uma correta análise de sistemas compostos por mais de um corpo, principalmente quando há transformação de um tipo de energia em outro dentro do próprio sistema, ou quando há transferência de energia entre o sistema e a vizinhança.</p>
Referências	<p>[McDermott et al., 2002a], [Lawson e McDermott, 1987] [Lindsey et al., 2009] , [Lindsey et al., 2012]</p>

**Tabela III.41.** Unidade 5: Trabalho e Energia – exercício #7

<b>Unidade 5–Exercício #7</b>	
Conceitos abordados	Teorema trabalho – energia cinética.
Comentários	<p>Este exercício visa proporcionar mais uma oportunidade onde os alunos possam perceber a importância do teorema trabalho-energia cinética na descrição do trabalho total realizado sobre determinado objeto quando este não puder ser obtido diretamente da aplicação da definição do conceito de trabalho.</p> <p>O trabalho realizado pela mão sobre o bloco é positivo, quando aquele realizado pela mola é negativo, não havendo mais informações relevantes que possam auxiliar na determinação se o trabalho total é positivo, negativo ou nulo. No entanto, analisando a variação de energia cinética do bloco e levando em consideração o teorema trabalho-energia cinética desenvolvido no exercício anterior, tem-se</p>

	que o trabalho total realizado sobre o bloco é negativo, visto que há diminuição da energia cinética do bloco.
Referências	[Lindsey et al., 2012]

**Tabela III.42.** Unidade 5: Trabalho e Energia – exercício #8

<b>Unidade 5–Exercício #8</b>	
Conceitos abordados	Forças conservativas.
Comentários	<p>Este exercício tem como objetivo reforçar ao aluno duas características importantes sobre forças conservativas: (1) que o trabalho por elas realizado em caminhos fechados é nulo e (2) que o trabalho realizado por uma força conservativa para ir de um ponto a outro no espaço é igual à variação de energia potencial gravitacional multiplicada por <math>-1</math>. No item <i>i</i> obtém-se diretamente da definição de trabalho de uma força que <math>W_{12_1} = -mgh</math>.</p> <p>No item <i>ii</i> supõe-se que o aluno já sabe calcular a variação de energia potencial gravitacional. Logo <math>\Delta U = mgh</math>.</p> <p>No item <i>iii</i> percebe-se que <math>W_{12_1} = \Delta U</math>.</p> <p>Nos itens <i>iv</i> e <i>v</i> toma-se o bloco em um instante qualquer durante o movimento de descida ao longo do caminho 2. Conforme já trabalhado em exercícios anteriores, espera-se que os alunos percebam que o deslocamento infinitesimal pode ser decomposto em duas projeções, uma paralela e outra perpendicular à força Peso. Sendo assim o trabalho da força Peso é nulo quando ao longo da projeção perpendicular do deslocamento infinitesimal e igual àquele encontrado no item <i>i</i> multiplicado por <math>-1</math> quando paralelo à projeção paralela ao Peso do deslocamento infinitesimal. Logo, o trabalho da força Peso ao longo do caminho 2 depende somente dos pontos iniciais e finais do movimento.</p> <p>No item <i>vi</i> percebe-se que <math>W_{12_1} = -W_{21_2}</math>.</p> <p>No item <i>vii</i> foca na percepção que se <math>W_{12_1} = -W_{21_2} \therefore W_{12_1} + W_{21_2} = 0</math>.</p> <p>Sendo assim, o trabalho de uma força conservativa ao longo de um caminho fechado é nulo.</p>
Referências	Observações feitas em sala de aula.

**Tabela III.43.** Unidade 5: Trabalho e Energia – exercício #9

<b>Unidade 5–Exercício #9</b>	
Conceitos abordados	Forças não-conservativas.
Comentários	<p>Este exercício tem como objetivo reforçar ao aluno uma característica importante sobre forças não-conservativas: que o trabalho por elas realizado em caminhos fechados é não nulo, dependendo inteiramente do trajeto percorrido.</p> <p>No item <i>i</i> o aluno deve fazer um diagrama de corpo livre para o bloco durante as duas etapas do movimento.</p> <p>No item <i>ii</i> o aluno encontra o trabalho realizado pelas forças</p>

	<p>identificadas no item anterior. Caso o aluno leve em consideração as forças verticais (Peso e Normal), deve perceber que estas não realizam trabalho, conforme já trabalhado no exercício #3.</p> <p>No item <i>iii</i> o aluno deve calcular o trabalho total realizado sobre o bloco durante todo o movimento. Considerando com boa aproximação que a velocidade do bloco é constante durante todo o movimento, conclui-se que a força aplicada ao bloco pela mão e a força de atrito entre o bloco e a superfície plana são iguais em módulo. Como consequência, o trabalho total realizado sobre o bloco será nulo.</p> <p>O item <i>iv</i> pede ao aluno que identifique a existência de forças não-conservativas baseando-se nas propriedades de forças conservativas. Embora o trabalho total realizado sobre o bloco seja nulo, a força aplicada ao bloco pela mão e a força de atrito são não-conservativas, uma vez que o trabalho total realizado por <i>cada uma</i> delas ao longo do caminho fechado é não nulo.</p> <p>No item <i>v</i> o aluno é levado a concluir que, caso o trajeto feito pelo bloco do ponto 2 ao ponto 1 fosse maior, o trabalho realizado pelas forças não-conservativas seria maior, uma vez que depende do caminho percorrido de forma diretamente proporcional a este, o que responde o item <i>vi</i>.</p>
Referências	Observações feitas em sala de aula.

**Tabela III.44.** Unidade 5: Trabalho e Energia – exercício #10

<b>Unidade 5–Exercício #10</b>	
Conceitos abordados	Teorema trabalho-energia.
Comentários	<p>Este exercício foca no teorema trabalho-energia na presença de forças não conservativas. Neste caso, o trabalho total realizado pelas forças não-conservativas é igual à variação de energia total do corpo.</p> <p>No item <i>i</i> o aluno deve fazer um diagrama de corpo livre para o bloco durante o movimento.</p> <p>No item <i>ii</i> o aluno deve identificar as forças que efetivamente realizam trabalho sobre o corpo. São elas Peso e força de atrito.</p> <p>No item <i>iii</i> o aluno deve identificar dentre as forças listadas no item anterior, qual delas é conservativa e qual não é. A força Peso é conservativa e a força de atrito não o é.</p> <p>O item <i>iv</i> pede ao aluno que, utilizando a nomenclatura descrita, escreva a equação que relaciona a variação de energia cinética do bloco com o trabalho total realizado sobre ele. Neste caso, tem-se:  <math>W^c + W^{nc} = \Delta T</math>, onde <math>\Delta T</math> é a variação de energia cinética do bloco.</p> <p>No item <i>v</i> o aluno deve levar em consideração a relação entre <math>W^c</math> e <math>\Delta U</math>, segundo a qual <math>W^c = -\Delta U</math>. Substituindo esta igualdade na equação do item anterior, tem-se:  <math>W^c + W^{nc} = \Delta T</math>, logo <math>W^{nc} = \Delta T + \Delta U</math>.</p> <p>Identificando <math>\Delta T + \Delta U = \Delta(T + U) = \Delta E</math>, segue que:  <math>W^{nc} = \Delta E</math>.</p>
Referências	Observações feitas em sala de aula.

### Referências mencionadas neste texto:

- [Aguirre, 1988] Jose M. Aguirre. Student preconceptions about vector kinematics. *The Physics Teacher*, vol. 26, p. 212, 1988.
- [Arons, 1997] Arnold B. Arons. *Teaching Introductory Physics*. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [Beatty et al., 2006] Ian D. Beatty, William J. Gerace, William J. Leonard e Robert J. Dufresne. Designing effective questions for classroom response system teaching. *American Journal of Physics*, vol. 74, n. 1, p. 31, 2006.
- [Bowden et al., 1992] J. Bowden, G. Dall'Alba, E. Martin, D. Laurillard, F. Marton, G. Masters, P. Ramsden, A. Stephanou e E. Walsh. Displacement, velocity, and frames of reference: Phenomenographic studies of students' understanding and some implications for teaching and assessment. *American Journal of Physics*, vol. 60, n. 3, p. 262, 1992.
- [Champagne et al., 1980] Audrey B. Champagne, Leopold E. Klopfer e John H. Anderson. Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 48, n. 12, p. 1074, 1980.
- [Clement, 1982] John Clement. Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 50, n. 1, p. 66, 1982.
- [Court, 1999] James E. Court. Free body diagrams revisited – I. *The Physics Teacher*, vol. 37, p. 427, 1999.
- [Flores e Kanim, 2004] Sergio Flores e Stephen E. Kanim. Student use of vectors in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, vol. 72, n. 4, p. 460, 2004.
- [Goldberg e Anderson, 1989] Fred M. Goldberg e John H. Anderson. Student difficulties with graphical representations of negative values of velocity. *The Physics Teacher*, vol. 27, p. 254, 1989.
- [Halloun e Hestenes, 1985] Ibrahim AbouHalloun e David Hestenes. Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, vol. 53, n. 11, p. 1056, 1985.

- [Lawson e McDermott, 1987] Ronald A. Lawson e Lillian C. McDermott. Student understanding of the work – energy and impulse – momentum theorems. *American Journal of Physics*, vol. 55, n. 9, p. 811, 1987.
- [Lindsey et al., 2009] Beth A. Lindsey, Paula R. L. Heron e Peter S. Shaffer. Student ability to apply the concepts of work and energy to extended systems. *American Journal of Physics*, vol. 77, n. 11, p. 999, 2009.
- [Lindsey et al., 2012] Beth A. Lindsey, Paula R. L. Heron e Peter S. Shaffer. Student understanding of energy: difficulties related to systems. *American Journal of Physics*, vol. 80, n. 2, p. 154, 2012.
- [McDermott, 1984] Lillian C. McDermott. Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, vol. 37, n. 7, p. 24, 1984.
- [McDermott et al., 1987] Lillian C. McDermott, Mark L. Rosenquist e Emily H. van Zee. Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, vol. 55, n. 6, p. 503, 1987.
- [McDermott et al., 1994] Lillian C. McDermott, Peter S. Shaffer e Mark D. Somers. Research as a guide for teaching introductory mechanics: an illustration in the context of the Atwood's machine. *American Journal of Physics*, vol. 61, n. 1, p. 46, 1994.
- [McDermott et al., 2002a] Lillian C. McDermott, Peter S. Shaffer & the Physics Education Group. *Tutorials in Introductory Physics*. 1<sup>st</sup> Edition. New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [McDermott et al., 2002b] Lillian C. McDermott, Peter S. Shaffer & the Physics Education Group. *Tutorials in Introductory Physics: Homework*. 1<sup>st</sup> Edition. New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [Minstrell, 1982] Jim Minstrell. Explaining the “at rest” condition of an object. *The Physics Teacher*, vol. 20, p. 10, 1982.
- [Nguyen e Meltzer, 2003] Ngoc-Loan Nguyen e David E. Meltzer. Initial understanding of vector concepts among students in introductory Physics courses. *American Journal of Physics*, vol. 71, n. 6, p. 630, 2003.

- [Rosenquist e McDermott, 1987] Mark L. Rosenquist e Lillian C. McDermott. A conceptual approach to teaching kinematics. *American Journal of Physics*, vol. 55, n. 5, p. 407, 1987.
- [Shaffer e McDermott, 2005] Peter S. Shaffer e Lillian C. McDermott. A research-based approach to improving student understanding of the vector nature of kinematical concepts. *American Journal of Physics*, vol. 73, n. 10, p. 921, 2005.
- [Trowbridge e McDermott, 1980] David E. Trowbridge e Lillian C. McDermott. Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, vol. 48, n. 12, p. 1020, 1980.
- [Trowbridge e McDermott, 1981] David E. Trowbridge e Lillian C. McDermott. Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics*, vol. 49, n. 3, p. 242, 1981.
- [Watson et al., 2003] Anna Watson, Panayotis Spirou e David Tall. The relationship between physical embodiment and mathematical symbolism: The concept of vector. *The Mediterranean Journal of Mathematics Education*, vol. 1, n. 2, p. 73-97, 2003.

## **Apêndice IV**

### **Pré-testes e pós-testes**

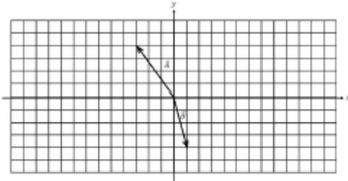
Neste apêndice encontram-se elencados os pré-testes e pós-testes utilizados para avaliar a eficácia dos tutoriais. Foram elaborados utilizando o sistema AtenaME, de onde foram exportados em formato PDF. Por esta razão, fez-se necessária a disposição dos testes como arquivo de imagem. Além disso, todos os itens dos testes apresentam a alternativa “A” como resposta correta. Esta padronização é característica do sistema AtenaME.

Conforme salientado no Capítulo 4, os pré-testes foram administrados imediatamente antes do contato dos alunos com o primeiro tutorial da respectiva unidade e os pós-testes foram administrados aproximadamente sete dias após o contato dos alunos com o último tutorial da mesma unidade. Todos os testes foram administrados sempre no início das aulas de apoio pedagógico, estimando-se aproximadamente vinte minutos para sua resolução. Desta forma, cada teste apresentava no mínimo quatro e no máximo sete itens.

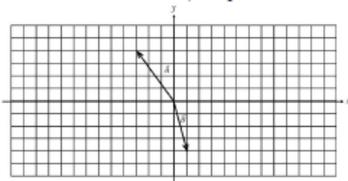
Ressalta-se ainda que o item número “1” do pós-teste da unidade de vetores encontra-se com erro de digitação em suas alternativas, fazendo com que não haja resposta para este item. Consequentemente, este foi descartado para fins de avaliação da aprendizagem dos alunos. O pós-teste da unidade de trabalho e energia apresenta inconsistência quanto ao seu título, onde se encontra escrito “pré-teste” em lugar de “pós-teste”. Deve-se considerar, portanto, aquilo descrito em sua legenda.

Pré-teste de Vetores

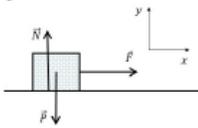
1. Considere os vetores  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  representados no plano cartesiano, conforme figura a seguir. Podemos afirmar que:



- (a)  $\vec{A} = -3\hat{i} + 4\hat{j}$  e  $\vec{B} = \hat{i} - 4\hat{j}$   
 (b)  $\vec{A} = 3\hat{i} - 4\hat{j}$  e  $\vec{B} = -\hat{i} + 4\hat{j}$   
 (c)  $\vec{A} = -3\hat{i} - 4\hat{j}$  e  $\vec{B} = \hat{i} + 4\hat{j}$   
 (d)  $\vec{A} = 3\hat{i} + 4\hat{j}$  e  $\vec{B} = -\hat{i} - 4\hat{j}$
2. Considere os vetores  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  representados no plano cartesiano, conforme figura a seguir. Podemos afirmar que o módulo do vetor  $\vec{A}$  e o ângulo que ele faz com o eixo  $x$  valem, respectivamente:

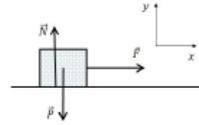


- (a)  $|\vec{A}| = 5$  e  $\theta = \frac{\pi}{2} + \arcsin 0,8$   
 (b)  $|\vec{A}| = \sqrt{5}$  e  $\theta = \frac{\pi}{2} + \arcsin 0,8$   
 (c)  $|\vec{A}| = 5$  e  $\theta = \pi + \arcsin 0,8$   
 (d)  $|\vec{A}| = \sqrt{5}$  e  $\theta = \pi + \arcsin 0,8$
3. Um bloco de massa  $m$  é puxado por uma força  $\vec{F}$  horizontal. Considere desprezível o atrito entre a superfície e o bloco. Sendo assim, podemos afirmar que:



- (a)  $\vec{N} = -\vec{P}$   
 (b)  $\vec{N} = \vec{P}$

4. Um bloco de massa  $m$  é puxado por uma força  $\vec{F}$  horizontal. Considere desprezível o atrito entre a superfície e o bloco. Podemos afirmar que a força resultante no eixo  $y$  pode ser melhor representada por:



- (a)  $\vec{R}_y = \vec{N}_y + \vec{P}_y$   
 (b)  $\vec{R}_y = \vec{N}_y - \vec{P}_y$

5. Sejam  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  dois vetores, conforme figura a seguir. O vetor  $\vec{c}$  que melhor representa a soma  $\vec{a} + \vec{b}$  destes vetores é:



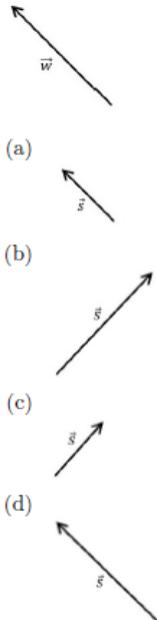
- (a)
- (b)
- (c)
- (d)

6. Sejam  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  dois vetores, conforme figura a seguir. O vetor  $\vec{d}$  que melhor representa a diferença  $\vec{a} - \vec{b}$  entre estes vetores é:



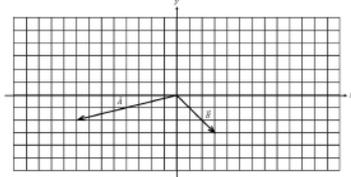
- (a)
- (b)
- (c)
- (d)

7. A seguir tem-se o vetor  $\vec{w}$ . Sabendo que  $\vec{w} = 2\vec{s}$ , a opção que melhor representa o vetor  $\vec{s}$  é:



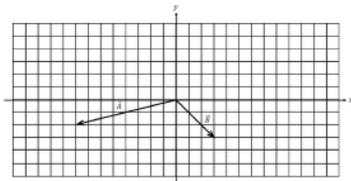
Pós-teste de Vetores

1. Considere os vetores  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  representados no plano cartesiano, conforme figura a seguir. Podemos dizer que:



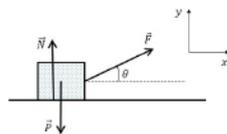
- (a)  $\vec{A} = -8\hat{i} + 2\hat{j}$  e  $\vec{B} = 3\hat{i} - 3\hat{j}$   
 (b)  $\vec{A} = 8\hat{i} + 2\hat{j}$  e  $\vec{B} = -3\hat{i} - 3\hat{j}$   
 (c)  $\vec{A} = 8\hat{i} - 2\hat{j}$  e  $\vec{B} = 3\hat{i} + 3\hat{j}$   
 (d)  $\vec{A} = -8\hat{i} - 2\hat{j}$  e  $\vec{B} = -3\hat{i} + 3\hat{j}$

2. Considere os vetores  $\vec{A}$  e  $\vec{B}$  representados no plano cartesiano, conforme figura a seguir. Podemos afirmar que o módulo do vetor  $\vec{B}$  e o ângulo que ele faz com o eixo  $x$  valem, respectivamente:



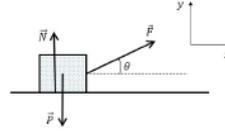
- (a)  $|\vec{B}| = 3\sqrt{2}$  e  $\theta = -\frac{\pi}{2}$   
 (b)  $|\vec{B}| = 3\sqrt{2}$  e  $\theta = \frac{\pi}{2}$   
 (c)  $|\vec{B}| = 2\sqrt{3}$  e  $\theta = -\frac{\pi}{2}$   
 (d)  $|\vec{B}| = 2\sqrt{3}$  e  $\theta = \frac{\pi}{2}$

3. Um bloco de massa  $m$  é puxado por uma força  $\vec{F}$  que faz um ângulo  $\theta$  com o eixo horizontal. Considere desprezível o atrito entre a superfície e o bloco. Sendo assim, podemos afirmar que:



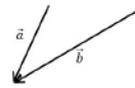
- (a) A força resultante sobre o bloco é  $\vec{R} = \vec{N} + \vec{P} + \vec{F}$   
 (b) A força resultante sobre o bloco é  $\vec{R} = \vec{N} + \vec{P} + \vec{F} \sin \theta$

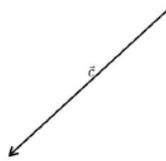
4. Um bloco de massa  $m$  é puxado por uma força  $\vec{F}$  que faz um ângulo  $\theta$  com o eixo horizontal. Considere desprezível o atrito entre a superfície e o bloco. Sendo assim, podemos afirmar que a força resultante no eixo  $y$  pode ser melhor representada por:



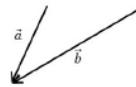
- (a)  $\vec{R}_y = \vec{N}_y + \vec{P}_y + \vec{F}_y$   
 (b)  $\vec{R}_y = \vec{N}_y - \vec{P}_y + \vec{F}_y$   
 (c)  $\vec{R}_y = \vec{N}_y + \vec{P}_y + \vec{F}_y \sin \theta$   
 (d)  $\vec{R}_y = \vec{N}_y - \vec{P}_y + \vec{F}_y \sin \theta$

5. Sejam  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  dois vetores, conforme figura a seguir. O vetor  $\vec{c}$  que melhor representa a soma  $\vec{a} + \vec{b}$  destes vetores é:

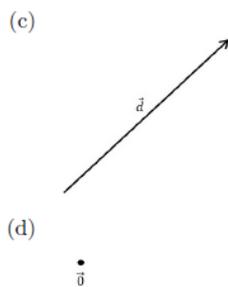


- (a)   
 (b)   
 (c)   
 (d) 

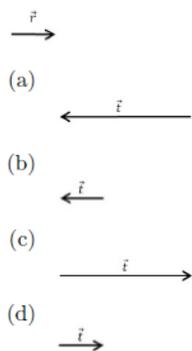
6. Sejam  $\vec{a}$  e  $\vec{b}$  dois vetores, conforme figura a seguir. O vetor  $\vec{d}$  que melhor representa a diferença  $\vec{a} - \vec{b}$  entre estes vetores é:



- (a)   
 (b) 

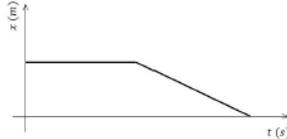


7. A seguir tem-se o vetor  $\vec{r}$ . Sabendo que  $\vec{r} = (-\frac{1}{3})\vec{i}$ , a opção que melhor representa o vetor  $\vec{t}$  é:

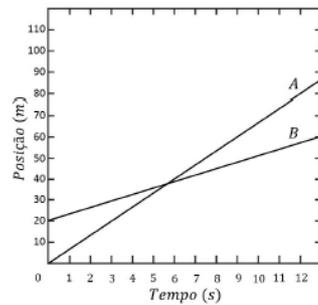


Pré-teste de Cinemática 1D

1. O gráfico a seguir descreve o movimento unidimensional de um corpo, considerando desprezível qualquer atrito. Qual das seguintes afirmativas o interpreta corretamente?



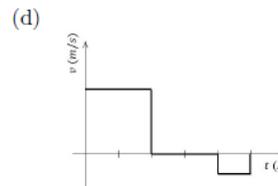
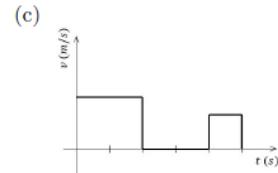
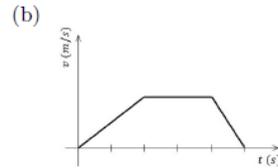
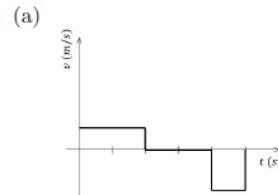
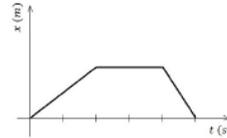
- (a) O objeto não se move inicialmente, mas após um intervalo de tempo se move para trás e finalmente chega ao repouso.
  - (b) O objeto se move sobre uma superfície plana. Logo após desce um plano inclinado e finalmente chega ao repouso.
  - (c) O objeto não se move inicialmente, mas logo após desce um plano inclinado e finalmente chega ao repouso.
  - (d) O objeto se move inicialmente com velocidade constante. Então diminui sua velocidade e chega ao repouso.
  - (e) O objeto se move sobre uma superfície plana. Após um intervalo de tempo se move para trás ao longo de um plano inclinado e finalmente chega ao repouso.
2. O gráfico abaixo representa o movimento de duas bolas que se deslocam sobre trajetórias paralelas. É correto afirmar que:



- (a) No instante  $t = 6$  s a bola A ultrapassa a bola B.
- (b) No instante  $t = 6$  s as bolas se movem com mesma velocidade.
- (c) No instante  $t = 2$  s a bola B se move com maior velocidade.

- (d) No instante  $t = 2$  s a bola A se encontra à frente da bola B ao longo do eixo orientado.

3. O gráfico *posição x tempo* a seguir descreve o movimento unidimensional de um objeto durante determinado intervalo de tempo. Quais dos gráficos *velocidade x tempo* a seguir melhor representa a movimento deste objeto durante o mesmo intervalo de tempo?



4. O gráfico *velocidade x tempo* a seguir descreve o movimento unidimensional de um objeto durante determinado intervalo de tempo. Quais dos gráficos *aceleração x tempo* a seguir melhor representa a movimento deste objeto durante o mesmo intervalo de tempo?

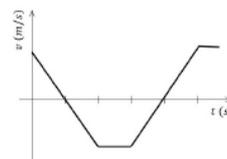
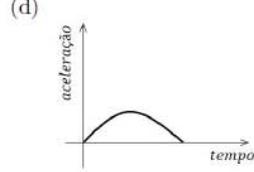
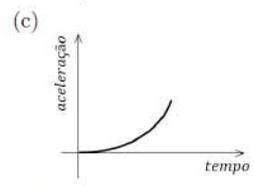
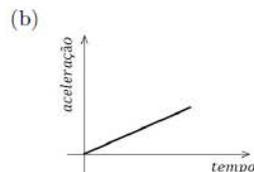
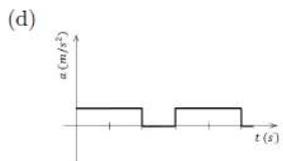
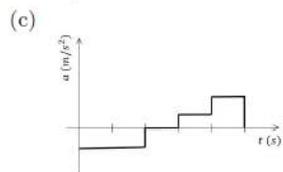
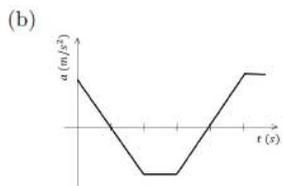
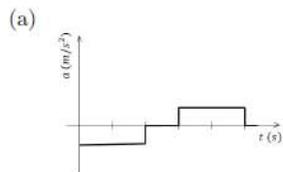
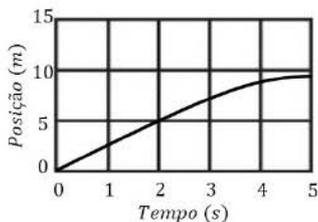


Figura IV.5. Pré-teste de Cinemática Unidimensional (Pág. 1).

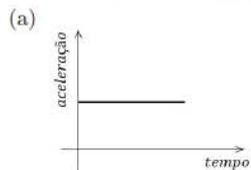


5. O gráfico abaixo refere-se ao movimento de determinado corpo. Podemos afirmar que a velocidade deste corpo no instante  $t = 3 \text{ s}$  é aproximadamente:

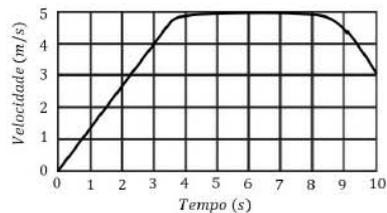


- (a)  $2,0 \text{ m/s}$
- (b)  $0,4 \text{ m/s}$
- (c)  $2,5 \text{ m/s}$
- (d)  $5,0 \text{ m/s}$
- (e)  $10,0 \text{ m/s}$

6. A seguir são mostrados os gráficos *aceleração x tempo* de cinco objetos diferentes. Todos os eixos tem a mesma escala. Qual dos objetos sofreu a maior variação de velocidade durante o intervalo representado?



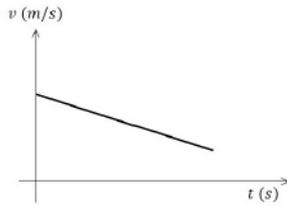
7. Um elevador se move do térreo ao décimo andar de um prédio. A massa do elevador é  $1000 \text{ kg}$  e ele se move conforme mostrado no gráfico *velocidade x tempo* a seguir. Quantos metros o elevador se move durante os três primeiros segundos de seu movimento?



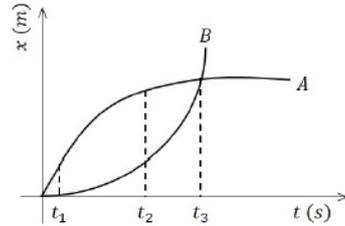
- (a)  $6,0 \text{ m}$
- (b)  $0,75 \text{ m}$
- (c)  $1,33 \text{ m}$
- (d)  $4,0 \text{ m}$
- (e)  $12,0 \text{ m}$

Pós-teste de Cinemática 1D

1. O gráfico a seguir descreve o movimento unidimensional de um corpo, considerando desprezível qualquer atrito. Qual das seguintes afirmativas o interpreta corretamente?



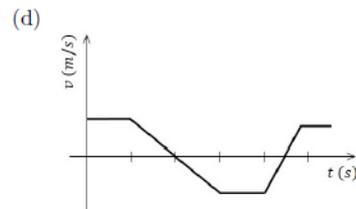
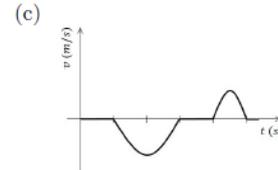
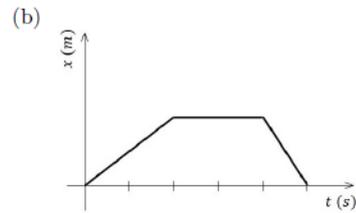
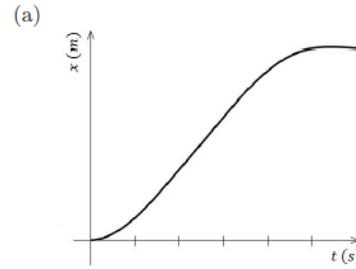
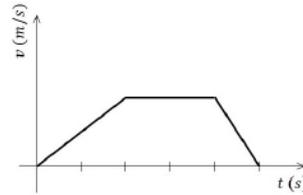
- (a) O objeto se move com aceleração constante.  
 (b) O objeto se move com aceleração que decresce uniformemente.  
 (c) O objeto se move com velocidade que aumenta uniformemente.  
 (d) O objeto se move com velocidade constante.  
 (e) O objeto não se move em momento algum.
2. O gráfico abaixo representa o movimento de duas bolas que se deslocam sobre trajetórias paralelas. É correto afirmar que:



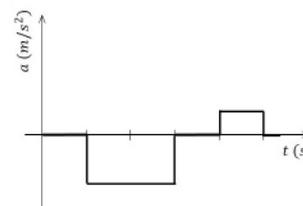
- (a) No instante  $t_1$  a bola A se move com maior velocidade.  
 (b) A bola A permanece à frente da bola B ao longo do eixo orientado durante todo o movimento.  
 (c) No instante  $t_2$  a bola B se encontra à frente da bola A ao longo do eixo orientado.  
 (d) No instante  $t_3$  as bolas possuem mesma velocidade.

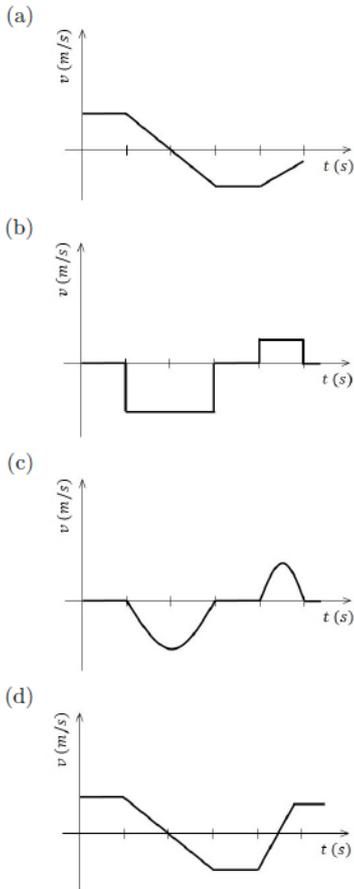
3. O gráfico *velocidade x tempo* a seguir descreve o movimento unidimensional de um objeto durante determinado intervalo de tempo. Quais dos gráficos *posição x tempo* a seguir melhor representa a movimento

deste objeto durante o mesmo intervalo de tempo?

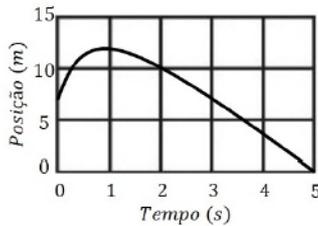


4. O gráfico *aceleração x tempo* a seguir descreve o movimento unidimensional de um objeto durante determinado intervalo de tempo. Quais dos gráficos *velocidade x tempo* a seguir melhor representa a movimento deste objeto durante o mesmo intervalo de tempo?



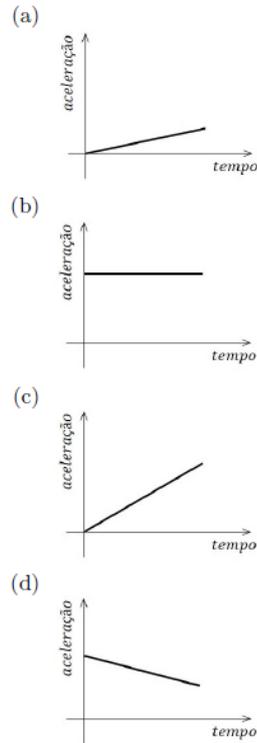


5. O gráfico abaixo refere-se ao movimento de determinado corpo. Podemos afirmar que a velocidade deste corpo no instante  $t = 3$  s é aproximadamente:

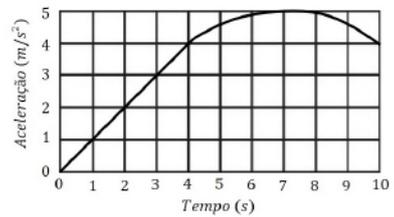


- (a)  $-3,3$  m/s
- (b)  $-2,0$  m/s
- (c)  $-0,67$  m/s
- (d)  $-1,5$  m/s
- (e)  $-5,0$  m/s

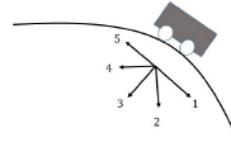
6. A seguir são mostrados os gráficos *aceleração x tempo* de cinco objetos diferentes. Todos os eixos tem a mesma escala. Qual dos objetos sofreu a menor variação de velocidade durante o intervalo representado?



7. Um objeto parte do repouso e se comporta de acordo com o gráfico a seguir. Sua velocidade no instante  $t = 3$  s é:

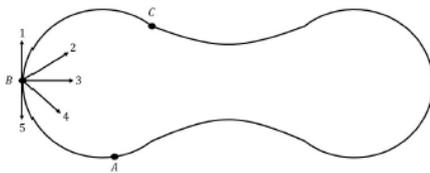


- (a)  $4,5$  m/s
- (b)  $0,66$  m/s
- (c)  $1,0$  m/s
- (d)  $3,0$  m/s
- (e)  $9,0$  m/s



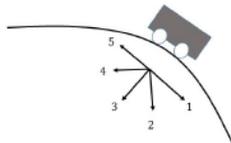
Pré-teste de Cinemática 3D

1. Um móvel percorre a trajetória indicada na figura, partindo do ponto A e se movendo em sentido horário com velocidade constante em módulo. O móvel passa então pelo ponto B e chega em C. Qual dos vetores indicados melhor representa a *velocidade média* do móvel no intervalo de B para C?



- (a) 2  
 (b) 1  
 (c) 3  
 (d) 4  
 (e) 5

2. Na figura a seguir está representado um carro que desce uma colina. O motorista acelera o carro durante toda a descida, aumentando uniformemente o módulo da velocidade do veículo. Indique qual dos vetores melhor representa a *velocidade instantânea* do carro no momento dado.

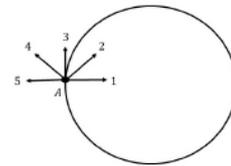


- (a) 1  
 (b) 2  
 (c) 3  
 (d) 4  
 (e) 5

3. Na figura a seguir está representado um carro que desce uma colina. O motorista acelera o carro durante toda a descida, aumentando uniformemente o módulo da velocidade do veículo. Indique qual dos vetores melhor representa a *aceleração instantânea* do carro no momento dado.

- (a) 2  
 (b) 1  
 (c) 3  
 (d) 4  
 (e) 5

4. Determinado móvel parte do repouso em A e percorre uma trajetória circular em sentido horário com velocidade constante em módulo, conforme indicado na figura. Assinale qual dos vetores melhor representa a *aceleração instantânea* do móvel em A.



- (a) 3  
 (b) 1  
 (c) 2  
 (d) 4  
 (e) 5

5. Um barco sai do deck em A e se move sempre apontando para leste, com seu motor em ritmo constante. Seja  $t_1$  o tempo que ele leva para cruzar o rio sem correnteza e  $t_2$  o tempo que ele leva para cruzar o mesmo rio caso haja correnteza. Podemos afirmar então que:

- (a)  $t_1 = t_2$   
 (b)  $t_1 > t_2$   
 (c)  $t_1 < t_2$   
 (d) Não há informações suficientes para responder.

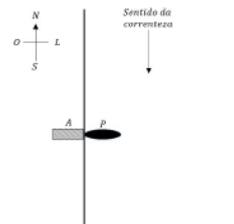
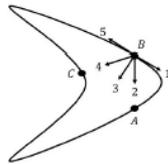


Figura IV.9. Pré-teste de Cinemática Vetorial.

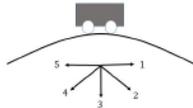
Pós-teste de Cinemática 3D

1. Um móvel percorre a trajetória indicada na figura, partindo do ponto A e se movendo em sentido horário com velocidade constante em módulo. O móvel passa então pelo ponto B e chega em C. Qual dos vetores indicados melhor representa a *velocidade média* do móvel no intervalo de B para C?



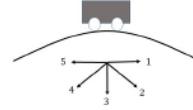
- (a) 4
- (b) 1
- (c) 2
- (d) 3
- (e) 5

2. Na figura a seguir está representado um carro que passa pelo ponto mais alto de uma colina, da esquerda para a direita. O motorista começa a frear o carro um pouco antes de chegar no topo, diminuindo uniformemente o módulo da velocidade do veículo, e assim permanece até depois de passar por este ponto. Indique qual dos vetores melhor representa a *velocidade instantânea* do carro no momento dado.



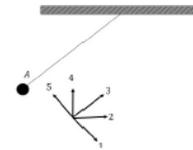
- (a) 1
- (b) 2
- (c) 3
- (d) 4
- (e) 5

3. Na figura a seguir está representado um carro que passa pelo ponto mais alto de uma colina, da esquerda para a direita. O motorista começa a frear o carro um pouco antes de chegar no topo, diminuindo uniformemente o módulo da velocidade do veículo, e assim permanece até depois de passar por este ponto. Indique qual dos vetores melhor representa a *aceleração instantânea* do carro no momento dado.



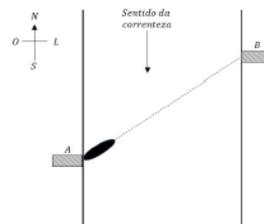
- (a) 4
- (b) 1
- (c) 2
- (d) 3
- (e) 5

4. Um pêndulo simples, formado por uma esfera de massa  $m$  presa a uma corda ideal, parte do repouso, conforme ilustrado na figura a seguir. Assinale quais dos vetores indicados melhor representa a *aceleração instantânea* da esfera neste instante inicial.



- (a) 1
- (b) 2
- (c) 3
- (d) 4
- (e) 5

5. Um barco sai do deck em A e se move sempre em linha reta até o deck em B, com seu motor em ritmo constante. Seja  $t_1$  o tempo que ele leva para efetuar o trajeto sem correnteza no rio e  $t_2$  o tempo que ele leva para percorrer o mesmo trajeto caso haja correnteza. Podemos afirmar então que:



- (a)  $t_1 < t_2$
- (b)  $t_1 > t_2$
- (c)  $t_1 = t_2$
- (d) Não há informações suficientes para responder.



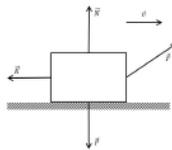
Pré-teste de Dinâmica

1. A figura a seguir representa uma moeda que foi inicialmente lançada para cima com velocidade inicial  $v_0$  do ponto A. A linha contínua indica sua trajetória subsequente. Considere as seguintes forças:  $\vec{F}_1$  - Força do "lançamento";  $\vec{F}_2$  - Força gravitacional;  $\vec{F}_3$  - Força de atrito com o ar. Podemos dizer que no ponto B indicado as seguintes forças atuam sobre a moeda:



- (a)  $\vec{F}_2$  e  $\vec{F}_3$
- (b)  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$
- (c)  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  e  $\vec{F}_3$
- (d)  $\vec{F}_1$
- (e)  $\vec{F}_2$
- (f)  $\vec{F}_3$

2. Uma pessoa puxa um corpo sobre uma superfície rugosa e horizontal com velocidade constante, aplicando uma força  $\vec{F}$ . O diagrama a seguir mostra as direções das forças que atuam sobre o corpo. Qual das relações entre  $\vec{P}$ ,  $\vec{K}$ ,  $\vec{N}$  e  $\vec{F}$  é verdadeira?

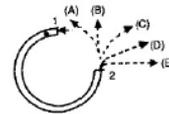


- (a)  $|\vec{F}| > |\vec{K}|$  e  $|\vec{N}| < |\vec{P}|$
- (b)  $|\vec{F}| = |\vec{K}|$  e  $|\vec{N}| = |\vec{P}|$
- (c)  $|\vec{F}| = |\vec{K}|$  e  $|\vec{N}| > |\vec{P}|$
- (d)  $|\vec{F}| < |\vec{K}|$  e  $|\vec{N}| = |\vec{P}|$

3. Um menino, ao andar de skate, passa sobre uma pequena rampa, conforme mostra a figura a seguir. Desconsiderando qualquer atrito, podemos afirmar que:

- (a)  $|\vec{N}| < |\vec{P}|$
- (b)  $|\vec{N}| > |\vec{P}|$
- (c)  $|\vec{N}| = |\vec{P}|$
- (d) Não há informações suficientes para responder.

4. O diagrama a seguir representa um canal semicircular que foi afixado a um plano horizontal. Uma bola entra por 1 e sai em 2. Qual dos caminhos representa a trajetória seguida pela bola ao sair do canal e rolar sobre a mesa?



- (a) B
- (b) A
- (c) C
- (d) D
- (e) E

5. Uma mosca colide com o para-brisa de um ônibus que se move rapidamente. Qual dos dois sofre a ação de uma força de maior intensidade no impacto?

- (a) A intensidade da força sobre os dois é idêntica.
- (b) A força sobre a mosca é maior do que a força sobre o ônibus.
- (c) A força sobre o ônibus é maior do que a força sobre a mosca.
- (d) A força sobre a mosca depende da velocidade do ônibus.

6. Na situação mostrada a seguir, uma pessoa aplica uma força  $\vec{F}$  a uma corda presa a uma árvore que não se move. Neste caso, a tração na corda tem intensidade  $t$ . Em seguida, a árvore é substituída por outra pessoa, que aplica uma mesma força  $\vec{F}$  na corda, em sentido oposto. Neste caso, a tração na corda vale  $T$ . Podemos afirmar que a relação entre  $t$  e  $T$  é:



- (a)  $T = t$
- (b)  $T = 2t$
- (c)  $T = \frac{t}{2}$
- (d) Depende do valor de  $|\vec{F}|$ .

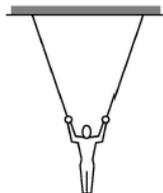
Pós-teste de Dinâmica

1. Uma bola de golfe é lançada durante um campeonato e percorre a trajetória indicada na figura a seguir. Considere:  $\vec{F}_1$  - Força gravitacional;  $\vec{F}_2$  - Força da "tacada";  $\vec{F}_3$  - Força resistência do ar. Podemos dizer que as seguintes forças atuam sobre a bola durante o voo:



- (a)  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_3$
- (b)  $\vec{F}_1$
- (c)  $\vec{F}_2$
- (d)  $\vec{F}_3$
- (e)  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$
- (f)  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  e  $\vec{F}_3$
- (g)  $\vec{F}_2$  e  $\vec{F}_3$

2. Um ginasta de massa  $m = 50 \text{ kg}$  está em repouso, suspenso por duas cordas de acordo com a figura a seguir. Seja  $\vec{T}$  a tensão na corda esquerda. Podemos afirmar que:



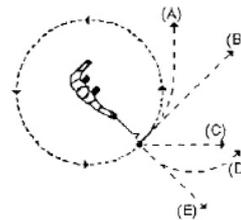
- (a)  $|\vec{T}| > 250 \text{ N}$
- (b)  $|\vec{T}| < 250 \text{ N}$
- (c)  $|\vec{T}| = 250 \text{ N}$
- (d) Não há informações suficientes para responder.

3. O diagrama a seguir representa um canal semicircular que foi afixado de forma **vertical**. Uma bola entra por A. Quando a bola se encontra em B, podemos afirmar que:

- (a)  $|\vec{P}| < |\vec{N}|$
- (b)  $|\vec{P}| > |\vec{N}|$
- (c)  $|\vec{P}| = |\vec{N}|$
- (d) Não há informações suficientes para responder.



4. Uma pedra de massa  $m$  está presa a um fio ideal e gira segundo uma trajetória circular de acordo com a figura a seguir. No ponto indicado o fio arrebenta. Vendo este evento de cima, podemos afirmar que a pedra seguirá o caminho descrito por:



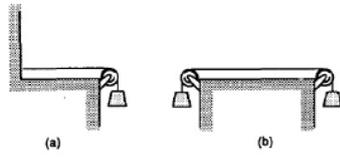
- (a) B
- (b) A
- (c) C
- (d) D
- (e) E

5. Dois alunos estão sentados em cadeiras idênticas, da forma indicada na figura. O aluno "a", que tem massa  $m = 95 \text{ kg}$  empurra com os pés o aluno "b", que tem massa  $m = 77 \text{ kg}$ , fazendo com que ambos se movam em direções opostas. Nesta situação, podemos afirmar que:



- (a) Os alunos exercem, um sobre o outro, forças de magnitudes idênticas.
- (b) Nenhum aluno exerce força alguma sobre o outro.
- (c) O aluno "a" exerce uma força sobre "b", mas este não exerce força alguma sobre "a".
- (d) Os alunos exercem forças um sobre o outro, mas "a" exerce uma força de maior intensidade.
- (e) Os alunos exercem forças um sobre o outro, mas "a" exerce uma força de menor intensidade.

6. Três blocos idênticos estão presos por fios ideais da forma indicada na figura a seguir. Seja  $\vec{T}_1$  a tensão na corda no ponto onde está ligada à parede na situação "a" e  $\vec{T}_2$  a tensão no ponto central da corda na situação "b". Podemos afirmar que:

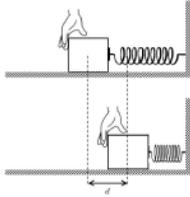


- (a)  $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2|$
- (b)  $|\vec{T}_1| > |\vec{T}_2|$
- (c)  $|\vec{T}_1| < |\vec{T}_2|$
- (d) Não há informações suficientes para responder.

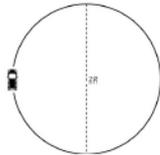


Pré-teste de Trabalho e Energia

1. Um bloco de massa  $m$ , ligado a uma mola ideal de constante elástica  $k$ , é empurrado sobre uma superfície sem atrito por uma força constante  $\vec{F}$  ao longo de uma distância  $d$ . Podemos afirmar que o trabalho realizado pela parede sobre o bloco é:

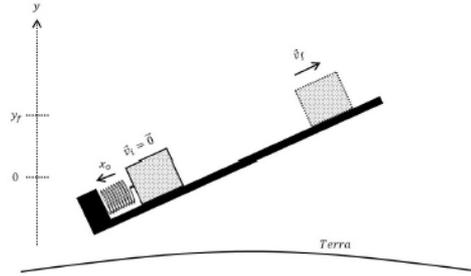


- (a)  $W = 0$   
 (b)  $W = Fd$   
 (c)  $W = \frac{1}{2}kd^2$   
 (d)  $W = -Fd$   
 (e)  $W = -\frac{1}{2}kd^2$   
 (f)  $W = Fd - \frac{1}{2}kd^2$   
 (g)  $W = Fd + \frac{1}{2}kd^2$
2. Um carro de massa  $m$  percorre uma trajetória circular de raio  $R$  com velocidade  $\vec{v}$  constante em módulo (movimento circular uniforme). Desconsiderando o atrito com o ar, podemos afirmar que o trabalho total realizado sobre o carro quando este completa uma volta é:



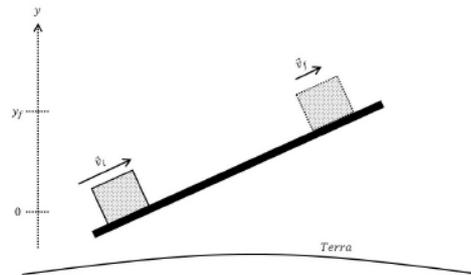
- (a)  $W = 0$   
 (b)  $W = 2\pi mv^2$   
 (c)  $W = -2\pi mv^2$   
 (d) Não há informações suficientes para responder.
3. Um bloco de massa  $m$  está em repouso sobre uma rampa sem atrito. O bloco está ligado a uma mola de constante elástica  $k$  inicialmente presa e comprimida de  $x_0$ . Repentinamente a mola é liberada e põe o bloco a mover-se sobre a rampa. À uma altura  $y_f$  o bloco possui velocidade  $\vec{v}_f$  de módulo inferior àquela

com a qual desprende-se da mola. O que podemos afirmar sobre o trabalho total realizado sobre o bloco do momento quando a mola é solta até atingir a altura  $y_f$ ?



- (a)  $W > 0$   
 (b)  $W < 0$   
 (c)  $W = 0$   
 (d) Não há informações suficientes para responder.

4. Um bloco de massa  $m$  sobe uma rampa com atrito com velocidade inicial  $\vec{v}_i$ . À uma altura  $y_f$  o bloco possui velocidade  $v_f$  de módulo inferior à velocidade inicial. Sendo assim, o que podemos afirmar sobre a variação de energia mecânica do bloco ( $\Delta E$ )?

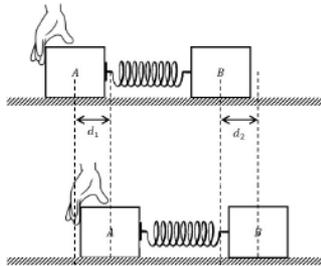


- (a)  $\Delta E < 0$   
 (b)  $\Delta E > 0$   
 (c)  $\Delta E = 0$   
 (d) Não há informações suficientes para responder.

Figura IV.14. Pré-teste de Trabalho e Energia.

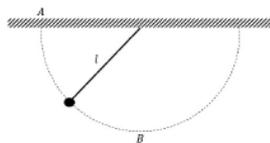
Pré-teste de Trabalho e Energia

1. A figura a seguir representa um sistema de duas massas iguais ligadas por uma mola ideal de constante elástica  $k$ . Uma força constante  $\vec{F}$  é aplicada ao bloco A, deslocando-o de uma distância  $d_1$ . Em consequência, o bloco B é deslocado de uma distância  $d_2$ . O trabalho realizado pela força  $\vec{F}$  sobre o bloco A é:



- (a)  $W = Fd_1$   
 (b)  $W = F(d_1 + d_2)$   
 (c)  $W = Fd_1 - \frac{1}{2}k(d_1)^2$   
 (d)  $W = F\frac{(d_1+d_2)}{2}$   
 (e)  $W = F\frac{(d_1+d_2)}{2} - \frac{1}{2}k\left(\frac{d_1+d_2}{2}\right)^2$

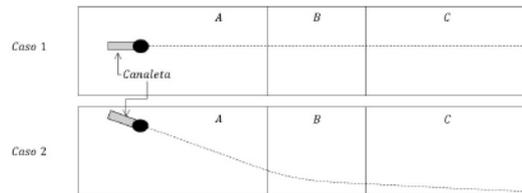
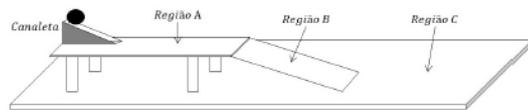
2. Uma conta de massa  $m$ , suspensa por um fio ideal de comprimento  $l$ , é solta a partir do repouso do ponto A. O trabalho realizado pelo fio sobre a conta do ponto A até o ponto B é:



- (a)  $W = 0$

- (b)  $W = mgl$   
 (c)  $W = T\left(\frac{\pi l}{2}\right)$   
 (d)  $W = T\left(\frac{\pi l}{2}\right) + mgh$

3. O experimento abaixo foi realizado de duas formas diferentes. Uma bola de massa  $m$  é solta do alto de uma canaleta sobre um planalto (Região A), onde rola com velocidade uniforme até ser acelerada pela rampa (Região B). Ao final da rampa chega a outra superfície plana (Região C) onde continua seu movimento novamente com velocidade constante. No primeiro caso, a canaleta é disposta perpendicularmente à rampa. No segundo caso, a canaleta é disposta formando um ângulo agudo com a rampa. Abaixo temos uma visão de cima dos casos. Seja  $K_1$  a energia cinética da bola ao chegar à Região C no caso 1 e  $K_2$  a energia cinética da bola ao chegar à Região C no caso 2. Podemos afirmar que:



- (a)  $K_1 = K_2$   
 (b)  $K_1 > K_2$   
 (c)  $K_1 < K_2$   
 (d) Não há informações suficientes para responder.

4. Um juiz de futebol lança uma moeda de massa  $m$  para cima com velocidade inicial  $\vec{v}_i$  e a mesma retorna à sua mão com velocidade final  $\vec{v}_f$ . Levando em consideração todas as forças que agem sobre a moeda (inclusive atrito), podemos afirmar que:

- (a)  $|\vec{v}_i| > |\vec{v}_f|$   
 (b)  $|\vec{v}_i| = |\vec{v}_f|$   
 (c)  $|\vec{v}_i| < |\vec{v}_f|$   
 (d) Depende da altura que a moeda atingiu.  
 (e) Não há informações suficientes para responder.

Figura IV.15. Pós-teste de Trabalho e Energia.