

Flávio Wiemes

**UMA COMBINAÇÃO DE ATIVIDADES
EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÃO PARA O ENSINO DE
DINÂMICA**

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ensino de Física da
Universidade Federal de Santa
Catarina no curso de Mestrado
Profissional em Ensino de Física,
como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de
Mestre em Ensino de Física.
Orientador: Prof. Dr. Paulo José
Sena dos Santos

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Wiemes, Flávio

Uma combinação de atividades experimentais e simulação para o ensino de dinâmica / Flávio Wiemes ; orientador, Paulo José Sena dos Santos, 2019.
304 p.

Dissertação (mestrado profissional) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Ensino de dinâmica. 3. Leis de Newton. 4. Atividades experimentais. 5. Simulação. I. Santos, Paulo José Sena dos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

Flávio Wiemes

**UMA COMBINAÇÃO DE ATIVIDADES
EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÃO PARA O ENSINO DE
DINÂMICA**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física, e aprovada em sua forma final pelo programa de Pós-Graduação e Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 24 de maio de 2019.

Prof. Oswaldo de Medeiros Ritter, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Paulo José Sena dos Santos, Dr.
Orientador
UFSC/FSC

Prof. Oswaldo de Medeiros Ritter, Dr.
Membro titular
UFSC/FSC

Prof. Lucas Nicolao, Dr.
Membro titular
UFSC/FSC

Prof. André Ary Leonel, Dr.
Membro externo
UFSC/CED

Este trabalho é dedicado a minha
família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela vida e por tudo de bom que me proporcionou.

À minha família, que sempre esteve presente me incentivando e ajudando no que fosse necessário.

Ao professor Dr Paulo José Sena dos Santos, que dedicou muito tempo, paciência e sabedoria para minha orientação.

Aos estudantes que participaram e cooperaram com a pesquisa e com o bom andamento das aulas.

Aos membros da banca por terem aceitado a participação neste trabalho, assim como pelas valiosas sugestões de melhoria neste trabalho.

Aos meus colegas do Mestrado, pelo incentivo e pela companhia nos momentos de estudo.

À UFSC e a SBF, por proporcionarem a possibilidade de cursar o Mestrado.

A todos citados aqui, se algum de vocês não fizesse parte, este trabalho não teria sido concluído.

Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação, conseguimos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.

(Dalai Lama).

RESUMO

Visando uma redução dos problemas do ensino de Física, especificamente os relacionados ao ensino-aprendizagem de mecânica, como as concepções espontâneas, dificuldades de interpretação, número excessivo de informações trabalhadas ao mesmo tempo e falta de relação entre teoria e prática, foi desenvolvida e aplicada uma sequência didática com o uso combinado de atividades experimentais e simulações disponíveis no site do PhET para o ensino de leis de Newton e força de atrito. A sequência didática foi aplicada em duas turmas do primeiro ano do Ensino Médio de uma escola estadual localizada no município de Águas Mornas, SC. Em uma turma foi aplicada a abordagem tradicional mais a parte experimental, e a outra foi aplicada a combinação de simulações e atividades experimentais. Os dados foram coletados através de gravações em áudio, relatos das atividades, avaliações e diário do professor. A análise das avaliações evidenciou que os estudantes que fizeram uso das atividades combinadas mostraram um desempenho melhor naquelas questões que abordam os conteúdos/conceitos trabalhados de maneira combinada, do que os que realizaram somente atividades experimentais, como prevê a literatura presente neste trabalho. Na opinião dos próprios estudantes, as atividades com simulação e experimentação foram boas ou muito boas, favorecendo bom aprendizado sobre os conceitos discutidos em sala.

Palavras chave: Ensino de dinâmica. Leis de Newton. Força de atrito. Uso de simulação. Atividades experimentais.

ABSTRACT

Aiming at reducing the problems of physics teaching, specifically those related to teaching-learning mechanics, such as spontaneous conceptions, difficulties of interpretation, excessive number of information worked at the same time and lack of relation between theory and practice, was developed and applied a didactic sequence with the combined use of experimental activities and simulations available on the PhET site for teaching Newton's laws and frictional force. The didactic sequence was applied in two classes of the first year of the High School of a state school located in the municipality of Águas Mornas, SC. In one class the traditional approach was applied to the experimental part, and the other was applied to the combination of simulations and experimental activities. Data were collected through audio recordings, activity reports, evaluations and teacher's diary. The analysis of the evaluations showed that the students who used the combined activities showed a better performance in those questions that approach the contents / concepts worked in a combined way, than those that realized only experimental activities, as foreseen in the literature present in this work. In the opinion of the students themselves, the activities with simulation and experimentation were good or very good, favoring good learning about the concepts discussed in the room.

Keywords: Teaching dynamics. Newton's laws. Frictional force. Use of simulation. Experimental activities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo proposto por Euler para explicar o atrito.	33
Figura 2 – Força resultante diferente de zero atuando em um caixote ..	36
Figura 3 - Simulação <i>Força e Movimento: Noções Básicas</i> usado para estudar uma situação sem atrito.....	66
Figura 4 - Simulação <i>Força e Movimento: Noções Básicas</i> usada para estudar uma situação com atrito	66
Figura 5 - Simulação Rampa: Forças e Movimento.....	67
Figura 6 - Seletor que permite a mudança do valor do atrito na simulação Força e Movimento	83
Figura 7 - Seletor que permite a mudança do atrito na simulação <i>Força e Movimento</i>	84
Figura 8 - Experimento para determinar a força de atrito	87
Figura 9 - Imagem da questão 2 da atividade sobre força de atrito.....	93
Figura 10 - Imagem da questão 3 da atividade sobre força de atrito.....	94
Figura 11 - Imagem da questão 4 da atividade sobre força de atrito.....	95
Figura 12 - Experimento do CD com balão.....	104
Figura 13 - Experimento para determinar o coeficiente de atrito estático	126
Figura 14 - Atividade experimental num plano horizontal com atrito	128
Figura 15 - Experimento do plano horizontal sem atrito.....	132
Figura 16 - Imagem da questão 1 das atividades sobre plano inclinado	141
Figura 17 - Imagem da questão 3 das atividades sobre plano inclinado	142
Figura 18 - Atividade experimental com plano inclinado	144
Figura 19 - Imagem da questão 1 da avaliação 2	152
Figura 20 - Imagem da questão 2 da avaliação 2	153
Figura 21 - Imagem da questão 2 da avaliação 2	153
Figura 22 - Imagem da questão 7 da avaliação 2	157
Figura 23 - Imagem da questão 9 da avaliação 2	158
Figura 24 - Força externa sendo exercida para cima no caixote	187
Figura 25 - Forças que agem em um bloco num plano inclinado.....	220
Figura 26 - Forças aplicadas em sentidos opostos.....	223
Figura 27 - Diagrama de forças.....	223
Figura 28 - Cabo de guerra.....	224
Figura 29 - Força puxa bloco para cima.....	224
Figura 30 - Três livros empilhados.....	225
Figura 31 – Trilho de ar montado.....	236
Figura 32 – Furos no trilho de ar.....	237

Figura 33 – Carrinhos utilizados no trilho de ar.	238
Figura 34 – Simulação para estudo de força de atrito.	243
Figura 35 – Blocos de madeira e dinamômetro utilizado no estudo de força de atrito.	249
Figura 36 – Processo de construção do dinamômetro.	249
Figura 37 - Caixote sendo empurrado (1) e caixote sendo empurrado com um objeto em cima (2)	253
Figura 38 - Força de atrito surge quando o bloco é empurrado	254
Figura 39 – Gráfico do comportamento da força de atrito.	256
Figura 40 - Ciclista subindo um morro	287
Figura 41 - Ciclista descendo um morro	288
Figura 42 – Medindo o ângulo de inclinação do plano	295

LISTA DE QUADROS

Tabela 1 – Resumo dos efeitos da TCC.	46
Tabela 2 – Temas discutidos, objetivos e atividades realizadas em cada aula	68
Tabela 3 - Comparação entre as atividades realizadas por cada turma e datas de aplicação.....	71
Tabela 4 – Comparação das respostas sobre relação entre força de atrito e força normal antes e após os experimentos	90
Tabela 5 - Comparação das respostas e avaliação das dificuldades sobre as atividades teóricas sobre força de atrito	97
Tabela 6 - Resumo com a relação de acertos/erros das questões sobre a primeira lei de Newton e dificuldades de interpretação/resolução.....	107
Tabela 7 – Tabela da questão 3 da atividade com simulação sobre segunda lei de Newton	115
Tabela 8 - Tabela da questão 5 da atividade com simulação sobre segunda lei de Newton	116
Tabela 9 - Tabela da questão 9 da atividade com simulação sobre segunda lei de Newton	118
Tabela 10 - Tabela da questão 12 da atividade com simulação sobre segunda lei de Newton	120
Tabela 11 – Relação de acertos/erros das atividades teóricas envolvendo a segunda lei de Newton.....	123
Tabela 12 - Tabela da questão 5 das atividades sobre segunda lei de Newton.....	124
Tabela 13 – Comparação sobre a realização de alguns cálculos sobre as atividades experimentais sobre 2ª lei de Newton	128
Tabela 14 - Exemplo de tabela preenchida nas questões 2 e 7 com dados de deslocamento e intervalo de tempo da atividade do plano horizontal com atrito	133
Tabela 15 - Dados da questão 4 da atividade experimental com plano horizontal.....	133
Tabela 16 - Comparação sobre a realização do cálculo da massa de um carrinho através da 2ª lei de Newton.....	136
Tabela 17 – Relação de acertos/erros das atividades teóricas envolvendo o plano inclinado.....	140
Tabela 18 – Comparação da realização dos cálculos da atividade experimental sobre plano inclinado.....	144
Tabela 19 - Comparativo de acertos e erros na primeira avaliação.....	145
Tabela 20 – Comparativo de acertos e erros na segunda avaliação.....	149

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBEF – Caderno Brasileiro de Ensino de Física

CCI – Carga Cognitiva Intrínseca

CCE – Carga Cognitiva Estranha

LR – Laboratório Real

LV – Laboratório Virtual

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

PhET – Physics Education Technology Project

RBEF – Revista Brasileira de Ensino de Física

SE – Sergipe

SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

TCC – Teoria da Carga Cognitiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	O ENSINO DE FORÇA DE ATRITO E LEIS DE NEWTON.....	29
2.1	Concepções espontâneas	30
2.2	Força de atrito e leis de Newton.....	31
3	TEORIA DA CARGA COGNITIVA	39
3.1	Efeitos da carga cognitiva	42
3.2	Como os efeitos da TCC foram utilizados na elaboração da sequência47	
4	O USO DE SIMULAÇÕES E ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA	51
4.1	Revisão sobre o uso das simulações para o ensino de Física no Brasil	56
4.1.1	Use das simulações para o ensino de dinâmica.....	57
4.1.2	Revisão dos trabalhos que abordam o uso combinado de simulação e experimentação no ensino de Física	59
5	A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	65
6	CONTEXTO E METODOLOGIA.....	77
6.1	Contexto.....	77
6.2	Os sujeitos participantes da pesquisa	77
6.3	Metodologia	78
7	RELATO DAS AULAS, PRINCIPAIS RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	81
7.1	Força de atrito	81
7.1.1	Importância da força de atrito.....	89
7.1.2	Atividades com equações da força de atrito.....	91
7.2	Estudo sobre a primeira lei de Newton	98
7.2.1	Concepções iniciais sobre os conceitos associados à primeira lei de Newton.....	98
7.2.2	Discussão e experimentos sobre primeira lei de Newton na turma 1	102

7.2.3	Atividade com simulação para discutir primeira lei de Newton com a turma 2.....	104
7.2.4	Atividades experimentais com turma 2.....	106
7.2.5	Atividades sobre primeira lei de Newton.....	107
7.3	Estudo da segunda lei de Newton.....	115
7.3.1	Atividade com simulação para discutir segunda lei de Newton na turma 2.....	115
7.3.2	Atividades sobre segunda lei de Newton.....	121
7.3.3	Atividade experimental no plano horizontal com atrito	125
7.3.4	Atividade experimental com plano horizontal sem atrito	132
7.4	Discussão sobre plano inclinado.....	137
7.4.1	Atividade com simulação para discussão de plano inclinado na turma 2.....	138
7.4.2	Atividades envolvendo plano inclinado.....	140
7.4.3	Atividade experimental com plano inclinado.....	143
7.5	Análise das avaliações aplicadas.....	145
7.5.1	Análise da Avaliação 1.....	145
7.5.2	Análise da Avaliação 2.....	149
7.6	7.6 Discussões gerais sobre a aplicação.....	159
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	163
	REFERÊNCIAS.....	169
	APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para os estudantes.....	175
	APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para os pais	179
	APÊNDICE C – Roteiro para atividade com simulação para discussão de força de atrito.....	185
	APÊNDICE D – Roteiro para atividade investigativa sobre os fatores que influenciam a força de atrito.....	189
	APÊNDICE E – Atividades com equações da força de atrito.....	191
	APÊNDICE F – Roteiro para atividade com simulação para discutir primeira lei de Newton.....	195
	APÊNDICE G – Questionário sobre primeira lei de Newton.....	197

APÊNDICE H – Roteiro para atividade com simulação para discussão da segunda lei de Newton.....	199
APÊNDICE I – Atividades sobre segunda lei de Newton	205
APÊNDICE J – Roteiro para atividade experimental num plano horizontal com atrito.....	207
APÊNDICE K- Roteiro para atividade experimental num plano sem atrito	211
APÊNDICE L – Roteiro para atividade com simulação para discussão do plano inclinado	215
APÊNDICE M – Atividades sobre plano inclinado.....	217
APÊNDICE N – Roteiro para atividade experimental num plano inclinado	219
APÊNDICE O – Primeira avaliação aplicada	223
APÊNDICE P – Segunda avaliação aplicada.....	227
Observações:.....	231
APÊNDICE Q – Produto Educacional.....	233

1 INTRODUÇÃO

O professor/pesquisador desta sequência de aulas iniciou sua graduação na UFSC no curso de Licenciatura em Física no ano de 2009, concluindo o curso no ano de 2015. O curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física iniciou-se no ano de 2016.

O trabalho como professor iniciou-se em outubro de 2010 e desde então o trabalho como professor era realizado de forma concomitante com os cursos de Graduação, e na sequência Mestrado. Nestes 8 anos de trabalho, o professor/pesquisador lecionou as disciplinas de Matemática e Física para alunos do Ensino Fundamental e Médio de escolas públicas e particulares. No momento, o professor/pesquisador é efetivo no quadro magistério do Estado de Santa Catarina, onde leciona a disciplina de Física em uma escola estadual do município de Santo Amaro da Imperatriz.

Durante as vivências escolares como professor, é presenciado por diversas vezes dificuldades no processo ensino-aprendizagem, relacionados à compreensão de um determinado conceito, concentração, motivação e participação dos estudantes. O MNPEF foi visto como uma porta para o aprimoramento dos métodos como professor, a fim de diminuir as dificuldades encontradas no dia-a-dia como professor do ensino básico.

Nestas vivências escolares, observa-se que muitos estudantes possuem curiosidades sobre como as coisas funcionam ou acontecem. São perguntas relacionadas a uma série de fenômenos naturais, como a chuva, o aparecimento da luz solar, o som, o aquecimento da água, entre tantos outros. Assim, o conhecimento dos conceitos e das linguagens utilizadas nas Ciências, entre elas na Física, é muito importante na formação do cidadão.

Ainda nesta linha de pensamento, segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (2002):

A Física deve apresentar-se, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. Isso implica, também, na introdução à linguagem própria da Física, que faz uso de conceitos e terminologia bem definidos, além de suas formas

de expressão, que envolvem, muitas vezes, tabelas, gráficos ou relações matemáticas. Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas impulsionado. (BRASIL, 2002, p. 2)

Sabendo-se da importância do ensino de Física, os professores buscam por melhores formas de ajudar os estudantes na construção do conhecimento. Entretanto, eles se deparam todos os dias com diversas dificuldades. Na literatura, pode-se encontrar vários estudos que mostram e analisam estes problemas, além da proposição de algumas soluções.

Como primeiro exemplo pode-se citar concepções espontâneas, que tiveram suas investigações iniciadas durante a década de 1970. Estas investigações mostram que elas são construídas pelos estudantes em suas vivências, antes e durante a inserção no ambiente escolar, e nem sempre são compatíveis com as explicações científicas. As principais características dessas concepções são encontradas em diversos trabalhos, como o de Peduzzi, Zylbersztajn e Moreira (1992):

São encontradas em um grande número de estudantes, em qualquer nível de escolaridade; constituem um esquema conceitual coerente, com amplo poder explicativo; diferem das ideias expressas através dos conceitos, leis e teorias que os alunos têm de aprender; são muito persistentes e resistem ao ensino de conceitos que conflitam com elas; não se debilitam, mesmo a frente de evidências experimentais que as contrariam; interferem no aprendizado da Física, sendo responsáveis em parte, pelas dificuldades que os alunos encontram em disciplinas desta matéria, acarretando nestas um baixo rendimento quando comparado com disciplinas de outras áreas; apresentam semelhança com esquemas de pensamento historicamente superados. (PEDUZZI, ZYLBERSZTAJN e MOREIRA, 1992, p. 240)

Outra dificuldade para o ensino de Física está relacionada à interpretação de problemas e conceitos. Ricon e Almeida (1991), ao desenvolverem atividades de leitura com estudantes do Ensino Médio, perceberam que eles sentem dificuldades para ler textos que restringem as possibilidades de interpretações, como os textos presentes nos livros didáticos de Física, que geralmente permitem apenas um significado. Segundo o que observaram, os estudantes preferem as leituras sugeridas na disciplina de Língua Portuguesa, pois elas permitem várias interpretações, além de atizar a curiosidade e a criticidade.

A Física apresenta ainda múltiplas representações de um dado fenômeno, seja através de gráficos, funções, fórmulas matemáticas, textos, entre outros modos que são de difícil interpretação para os estudantes, algumas vezes devido ao pouco conhecimento matemático e a dificuldade de abstração dos estudantes.

A predominância da abordagem tradicional, aqui entendida como aquela onde predomina a exposição dos conceitos, com pouco espaço para a discussão de dúvidas, e que faz uso da atividade experimental apenas para comprovar uma teoria que se supõe bem entendida, pode potencializar os problemas citados.

Entretanto, na literatura encontram-se algumas sugestões de trabalhos para melhorar o processo ensino-aprendizagem. Alguns autores sugerem o uso de atividades experimentais, outros o uso de simulação computacional e ainda existem aqueles que apontam a necessidade de combinação das duas abordagens.

Levando-se em consideração os apontamentos realizados até o momento, este trabalho procura investigar quais são as contribuições de uma combinação entre simulação e experimentação para o processo ensino-aprendizagem de dinâmica.

O uso conjunto das simulações e atividades experimentais é justificado na literatura devido a dificuldade de estabelecimento de relações entre a teoria discutida em sala e as atividades experimentais realizadas. Assim o papel dos simuladores será o refinamento do conhecimento do estudante, possibilitando o aparecimento de relações entre a teoria e os experimentos, o que ocorrerá através da feitura de previsões, da manipulação de variáveis e estabelecimento de conclusões.

Uma possível razão para a falta de conexões entre a teoria e a prática pelos estudantes pode estar na maneira como o cérebro processa as informações. Segundo a Teoria da Carga Cognitiva, desenvolvida por Sweller e outros desde a década de 1990, deve-se restringir a quantidade de informações, devido a impossibilidade natural de seu processamento. Desta forma, espera-se que o uso de simulações antes da atividade

experimental possa permitir o estabelecimento das primeiras conexões com a teoria, e reduzir a quantidade de informações processadas nas atividades de laboratório. Espera-se também, que o uso do simulador permita aguçar a curiosidade dos estudantes sobre os conceitos estudados.

A partir das possibilidades da combinação entre simulações e atividades experimentais apontadas por investigações no ensino de eletricidade (ZACHARIA, 2006; JAAKOLA; NURMI, 2007) e no ensino de química (WINBERG; BERG, 2005), neste projeto será proposta uma sequência didática para a discussão de situações sobre as leis de Newton que envolvam a presença de forças de atrito.

O objetivo da pesquisa realizada foi, a partir da sequência desenvolvida, investigar as contribuições de uma combinação de atividades experimentais para o processo de ensino-aprendizagem de dinâmica, ao identificar e analisar as vantagens e desvantagens do uso de simulações computacionais antes das atividades experimentais.

Os objetivos específicos da sequência de aulas são:

- Discutir as concepções espontâneas apresentadas pelos estudantes.
- Discutir a aplicação das leis de Newton em situações que envolvam o atrito.
- Diferenciar o atrito em estático e cinético.
- Identificar e calcular nas situações propostas as grandezas físicas de interesse.

2 O ENSINO DE FORÇA DE ATRITO E LEIS DE NEWTON

Ao longo de sua formação básica, o estudante deve adquirir algumas competências básicas que lhe permitirão se tornar um cidadão crítico, capaz de lidar com situações reais, um mundo complexo, cheio de tecnologias e em transformações constantes, que necessitam de um sentido crítico. Nesta perspectiva, em relação aos conceitos relacionados à Mecânica, os PCN+ (2002), fazem a seguinte atribuição:

[...] o espaço tradicionalmente demarcado pela Mecânica passa a ser associado às competências que permitem, por exemplo, lidar com os movimentos de coisas que observamos, identificando seus “motores” ou as causas desses movimentos, sejam carros, aviões, animais, objetos que caem, ou até mesmo as águas do rio ou o movimento do ar. Nessa abordagem, a Mecânica permite desenvolver competências para lidar com aspectos práticos, concretos, macroscópicos e mais facilmente perceptíveis, ao mesmo tempo que propicia a compreensão de leis e princípios de regularidade, expressos nos princípios de conservação. Fornece, também, elementos para que os jovens tomem consciência da evolução tecnológica relacionada às formas de transporte ou do aumento da capacidade produtiva do ser humano.

(BRASIL, 2002, p. 17 – 18).

Ainda neste documento, defende-se que para o estudo dos movimentos, são necessários sua identificação, classificação e que sejam aprendidas formas adequadas para descrevê-los. Desta forma, requer que os movimentos sejam associados:

[...] às causas que lhe dão origem, às interações que os originam, a suas variações e transformações, [...] por exemplo, identificando que para um carro parado passar a deslizar em um ladeira, é necessário uma interação com a Terra.

(BRASIL, 2002, p. 20).

Tendo em vista a importância do conhecimento sobre as causas dos movimentos, assim como as interações que causam estes movimentos, ou que os impede, discutiremos na sequência a importância do conhecimento sobre força de atrito e leis de Newton para o entendimento do mundo. Serão destacados ainda as dificuldades e as concepções espontâneas que os estudantes apresentam sobre o tema.

2.1 Concepções espontâneas

Em relação às concepções espontâneas, Zylbersztajn (1983) aponta que crianças e adolescentes desenvolvem espontaneamente concepções a respeito de fenômenos físicos, e os levam para as salas de aula. É apontado ainda que tais concepções são fortemente incorporadas à estrutura cognitiva do estudante, tornando-se resistentes à novas concepções cientificamente aceitas. Estas concepções proporcionam aos estudantes uma compreensão pessoal da realidade, influenciando assim a maneira que aprendem, ou deixam de aprender os conceitos discutidos em sala de aula.

Pozo e Crespo (2009), apontam que as concepções espontâneas podem ter origens sociais, através de crenças compartilhadas por grupos sociais no qual o indivíduo está inserido, através de transmissão oral ou apresentado através de meios de comunicação. Essas concepções também podem ter origem na escola, através de apresentações deformadas ou simplificadas de certos conceitos.

Essas concepções espontâneas em geral possuem capacidade explicativa limitada, o que possibilita serem questionadas diretamente. (ZYLBERSZTAJN, 1983). Porém, mesmo sendo conflitadas e comparadas a resultados experimentais, e observados resultados diferentes dos presentes nas concepções espontâneas, as concepções podem não ser superadas.

Desta forma, oferecer aos estudantes apenas experiências ou dados sensoriais, não modificará a concepção do estudante. A mudança de concepção *“envolve também ajudá-los a reconstruir as suas teorias ou crenças, a experimentar, por assim dizer, as evoluções paradigmáticas que ocorrem na história da ciência”* (NUSSBAUM e NOVICK, 1981, apud ZYLBERSZTAJN, 1983, p. 10).

Zylbersztajn (1983, p. 10 - 11) aponta que esta reconstrução pode ocorrer mediante uma reflexão sobre as suas próprias concepções, apresentando uma sequência de atividades:

1. Criar uma situação que induza os alunos a invocarem suas concepções a fim de interpretá-la;
2. Encorajar os alunos a descreverem verbalmente e através de figuras suas ideias;
3. Ajudar os alunos a enunciarem de modo claro e conciso as suas ideias;
4. Encorajar o debate sobre os prós e contras de diferentes interpretações dos alunos;
5. Criar um conflito cognitivo entre as concepções apresentadas e algum fenômeno que não possa ser explicado pelas mesmas;
6. Apoiar a busca de uma solução e encorajar sinais de uma acomodação de ideias. Encorajar a elaboração da nova concepção quando esta for proposta.

Zylbersztajn (1983) destaca ainda que as concepções curriculares oficialmente aceitas, deverão ser introduzidas em boa parte dos casos pelos professores, os quais terão que sugerir aos estudantes, que mesmo suas concepções sendo úteis e sensatas do ponto de vista pessoal, podem ser substituídas por outras mais “*poderosas*”. O autor destaca ainda que é necessário que sejam oferecidas oportunidades aos estudantes, para que os mesmos, através do uso da linguagem, dominem e reestruturem suas concepções. O fato de eles realizarem atividades práticas não é suficiente para ocorrer alteração de concepção. “*Mais importante é que discussões sobre as predições e conclusões sejam estimuladas, antes e após o experimento*” (ZYLBERSZTAJN, 1983, p. 12).

2.2 Força de atrito e leis de Newton

O atrito deve ser apresentado através de exemplos relacionados a atividades cotidianas (BESSON et al., 2007). Uma questão que busca discutir sua importância é “*como seria nossa vida se a força de atrito não existisse?*”. Atividades básicas como caminhar, andar de carro, frear um carro ou bicicleta, segurar uma caneta ou um copo não seriam possíveis. Besson et al. (2007) apontam que uma das dificuldades relacionadas ao entendimento do atrito está na forma com que os corpos são representados, através de um retângulo em movimento. Esta representação dificulta a criação de uma imagem microscópica para o entendimento das causas do atrito. Eles argumentam ainda que os estudantes possuem dificuldades de reconhecer o atrito como importante para o movimento, pois apesar de necessário para o entendimento de

como muitos corpos se movimentam, o atrito é abordado muito brevemente.

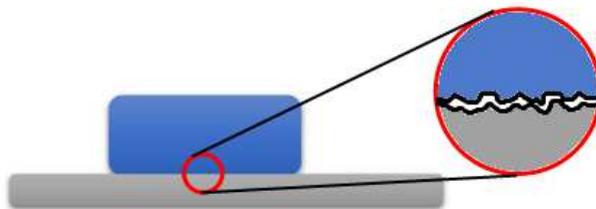
Normalmente o atrito mecânico é tratado como uma força resistiva ao movimento, e não como resistivo ao deslizamento entre os corpos. Desse modo, devem ser discutidas situações onde ele é um recurso positivo, em vez de trata-lo apenas como um obstáculo ao movimento. Outro aspecto discutido é o caso da força de atrito horizontal, em que os estudantes acabam por identificar força peso com força normal, levando-os à concepção de que a força de atrito depende da massa ou do peso do corpo.

É muito comum ainda, os estudantes relacionarem o atrito com a área de contato, como mostra o trabalho de Santos e Santos (2018). Os autores discutem que alguns estudantes acreditam que o atrito aumenta com a área de contato, mas há estudantes que acreditam que o atrito aumenta, para uma área menor, pois na maior área, o peso está melhor distribuído, facilitando o deslizamento.

A força de atrito depende dos materiais envolvidos e da aplicabilidade destes materiais (BESSON et al., 2007). Em nosso estudo optamos por não trabalhar com atrito de rolamento ou com materiais pegajosos, como plasticina ou massas que apresentam propriedades adesivas, pois neste caso há força de atrito mesmo sem a presença de força normal. Desta forma, optamos por trabalhar com atrito de deslizamento e sua dependência é com o coeficiente de atrito e com a força normal. As atividades propostas (simulação e experimentos) discutirão a independência da força de atrito com a área de contato e com a velocidade do corpo (no caso do atrito cinético).

O modelo para o entendimento do atrito de deslizamento utilizado neste trabalho será o proposto por Leonhard Euler (1707 – 1783), que tem base nas imperfeições tanto da superfície quanto do objeto em contato com ela. Segundo este modelo, o atrito é provocado pela aspereza, ou seja, pela rugosidade (que pode ser microscópica) existente nas superfícies de contato como mostra a Figura 1. Quando as superfícies são esfregadas uma na outra, tendem a se interpenetrar, oferecendo resistência ao deslizamento.

Figura 1 – Modelo proposto por Euler para explicar o atrito.



Fonte: Físmatica¹

Este modelo foi elaborado através de experimentos com plano inclinado. Nestes experimentos, Euler estabeleceu uma relação entre o ângulo de inclinação do plano no qual o bloco fica na iminência de se movimentar, e o coeficiente de atrito (termo definido por ele para medir a rugosidade entre as superfícies de contato). Esta relação define que o coeficiente de atrito estático corresponde a tangente da inclinação entre o plano inclinado e a horizontal.

Euler mostrou ainda através de seus experimentos que a força de atrito (f_a) é diretamente proporcional ao módulo da força normal (N) entre o objeto e a superfície de contato conforme mostra a Eq. (1).

$$f_a = \mu \cdot N \quad \text{Eq. (1).}$$

Outra característica apontada por Euler foi a mudança de coeficiente de atrito quando o bloco entra em movimento. Ele percebeu que o coeficiente de atrito cinético é, em geral, menor que o coeficiente de atrito estático, e independe da velocidade com que o bloco se movimentava. Quando o bloco está em repouso, calculamos a força de atrito estática (f_{ae}) utilizando a Eq. (2) e quando o bloco está em movimento calculamos a força de atrito dinâmica (f_{ad}) através da Eq. (3).

$$f_{ae} = \mu_e \cdot N \quad \text{Eq. (2).}$$

¹Disponível

$$f_{ad} = \mu_d \cdot N \quad \text{Eq. (3).}$$

Nestas equações, μ_e e μ_d são os coeficientes de atrito estático e dinâmico respectivamente. Como citado acima, geralmente μ_d é menor que μ_e .

Experimentos qualitativos como a análise da rugosidade de um determinado material com a mão permitem a discussão sobre a dependência da força de atrito com as superfícies de apoio, abrindo caminho para a discussão do que é o coeficiente de atrito. Esta análise por ser realizada ainda com blocos de madeira, envolvidos em diferentes materiais, puxados por dinamômetros. Outros experimentos quantitativos utilizando dinamômetros, blocos de madeira com diferentes massas e áreas de apoio permitem a discussão da dependência da força de atrito com a força normal e independência com a área de contato. No caso da dependência com a força normal, é possível variá-la e discuti-la aplicando-se forças para cima e para baixo sobre o bloco puxado.

Em nosso trabalho optamos por não realizar experimentos para analisar a independência da força de atrito com a velocidade que um bloco se movimenta. Neste caso, a discussão é realizada através do uso da simulação. Nela, o estudante pode observar que após o caixote entrar em movimento, a força de atrito não varia mais independentemente da velocidade. Além disso, é possível observar que a força de atrito diminui quando o caixote entra em movimento, o que permite abordar o fato de o coeficiente de atrito cinético ser menor que o coeficiente de atrito estático. Nos experimentos sobre força de atrito estática e cinética, também é possível observar que o coeficiente de atrito cinético é menor que o coeficiente de atrito estático.

A compreensão das leis de Newton permite ao estudante o entendimento de inúmeros movimentos que acontecem no dia-a-dia. Por exemplo, quando estamos em um ônibus em repouso, percebemos nosso corpo movendo-se para trás quando o ônibus acelera fortemente e movendo-se para frente no caso de uma freada brusca. A compreensão da primeira lei de Newton permite ao estudante entender a causa destes movimentos, assim como a importância do uso do cinto de segurança e do encosto de cabeça.

Em relação às dificuldades encontradas sobre as duas primeiras leis de Newton, destacamos a semelhança de dificuldades sofrida por Galileu ao introduzir as concepções inerciais de movimento (PEDUZZI, ZYLBERSZTAJN e MOREIRA, 1992). Os autores apontam que esta

dificuldade tem origem especialmente na relação de proporcionalidade entre força e movimento introduzidas pelas físicas aristotélica e do impetus.

Observa-se que parte das concepções espontâneas dos estudantes, remete a aspectos da teoria aristotélica. Esta que foi aceita, discutida e estudada por centenas de anos, tida como verdadeira, não é de fato, simples de ser modificada na sala de aula. Para alguns fenômenos relacionados ao movimento, as concepções espontâneas se assemelham aos conceitos defendidos na teoria do impetus.

Aristóteles atribui que cada coisa do Universo possui seu lugar natural. Desta forma, o movimento acontece porque dependendo do que é constituído este material, ele se dirige para seu lugar natural. Quando algo se movimenta sem ser naturalmente, uma força é necessária para manter o corpo em movimento. Aristóteles chamou este movimento de violento, e quando a força parasse de agir, o corpo voltaria ao seu lugar natural. Foi atribuído ainda que a velocidade é proporcional à força aplicada. Assim, um aumento de velocidade está atribuído a um aumento de força aplicada. Para explicar o movimento de um corpo lançado, Aristóteles estabelece que além de impor um efeito resistivo, o ar localizado na parte de trás do objeto transmite a ele uma força necessária para mantê-lo em movimento. Desta forma, não é possível que algo se movimente sem que haja uma força constante aplicada no objeto. Concepções estas, que se assemelham muito às do estudante.

No trabalho de Hiparco e Filoponos, a ideia básica aristotélica de que é necessária uma força para manter um corpo em movimento ainda é mantida, porém neste caso, a força é transmitida ao projétil pelo projetor, diferente de Aristóteles, que afirma que a força vem do meio que o corpo se movimenta (PEDUZZI, ZYLBERSZTAJN e MOREIRA, 1992).

Esta ideia de força impressa serviu de referencial para o desenvolvimento da teoria do impetus. Nela, afirma-se que um objeto colocado em movimento adquire um impetus que serve para manter o corpo em movimento. Para explicar o fato de um corpo parar, alguns teóricos assumem que este impetus se dissipa espontaneamente, outros argumentam que influências externas como a resistência do ar são responsáveis pela sua diminuição. Muitos estudantes trazem consigo a concepção de que ao colocarmos um corpo em movimento, transmitimos ao objeto uma força interna (ou impetus) para mantê-lo em movimento. À medida que o corpo vai perdendo esta força interna, sua velocidade vai diminuindo.

Trabalhos como o de Zylbersztajn (1983) mostram que estudantes de ensino médio e mesmo universitários tendem a associar força com velocidade. No caso de um lançamento de uma bola de canhão, o estudo aponta que os estudantes associam uma força agindo segundo a tangente à trajetória e no sentido do movimento da bola de canhão. Em outro estudo citado pelo autor, um refinamento sobre a relação espontânea entre força e velocidade parece ser mediada por dificuldades com o conceito de aceleração.

Pozo e Crespo (2009), apontam que os estudantes assumem que o repouso é um estado natural dos corpos. Desta forma um movimento só será possível mediante a ação de um agente externo. Na mecânica newtoniana, movimento e repouso são dois estados que dependem da interação de diversas forças. Na concepção dos estudantes, são duas situações distintas. Quando um objeto é visto em movimento, é buscado uma explicação de um agente externo que causa este movimento. Quando o corpo para de se mover, é porque o agente externo deixou de agir. Esta relação dificulta o entendimento da primeira lei de Newton.

Para que um corpo em repouso inicie o movimento, é necessário que a força resultante atuando sobre ele seja diferente de zero. No caso de uma força externa aplicada paralelamente à superfície, esta deve ser maior que a força de atrito estática para o corpo entrar em movimento, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Força resultante diferente de zero atuando em um caixote



Fonte: O autor.

A análise deste diagrama de forças permite entender os efeitos de uma força resultante. No caso de uma força resultante igual a zero, o efeito observado é o movimento uniforme (primeira lei de Newton). No caso de uma força resultante diferente de zero, é necessário a análise do

sentido da força resultante. Se a força resultante é no sentido do movimento, é observado um aumento de velocidade e se a força resultante é no sentido oposto ao movimento, é observado uma redução de velocidade. Este tipo de discussão permite ao estudante ressignificar sua concepção de que não é a falta de um agente externo que faz a velocidade diminuir, mas sim a força resultante no sentido oposto ao movimento. No caso de um objeto lançado num plano horizontal, a força resultante corresponde à força de atrito cinética atuando.

Nos dois casos citados anteriormente para força resultante diferente de zero, a aceleração (a) é proporcional à força resultante (F_R) aplicada e inversamente proporcional à massa do objeto (m), conforme mostra a Eq. (4).

$$a = \frac{F_R}{m} \quad \text{Eq. (4)}$$

Situações reais em que as leis de Newton ficam evidentes serão abordadas em nosso trabalho. As simulações e experimentos serão utilizados para discussão das concepções em sala, assim como para a obtenção de conceitos necessários para o entendimento das leis de Newton e de força de atrito.

Os experimentos e simulações serão abordados para que os estudantes percebam e reflitam sobre sua concepção de que tudo que move é movido por alguma coisa, para “todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo e uniforme, a menos que uma força o faça mudar”. As reflexões serão possibilitadas através de debates entre professor e estudantes, antes, durante e após a realização das atividades experimentais e com simulação.

Para buscar uma relação entre força resultante e aceleração, ou entre aceleração e massa do objeto, os estudantes também realizarão atividades com simulação e experimentos (com e sem atrito). A simulação permite a visualização e discussão qualitativa e quantitativa entre estas variáveis. Ao aumentar a força aplicada, o estudante pode observar que a velocidade aumenta mais rapidamente. No experimento, o mesmo efeito pode ser observado. Vale ressaltar que cabe ao professor auxiliar na reconstrução dos saberes dos estudantes.

3 TEORIA DA CARGA COGNITIVA

A teoria da carga cognitiva (TCC) construída a partir da década de 90 por Sweller e outros, é utilizada por diversos pesquisadores. Esta teoria tem como finalidade o estudo sobre como os seres humanos percebem, processam, codificam, armazenam, recuperam e utilizam as informações (SANTOS e TAROUCO, 2007). A finalidade desta teoria é, através do entendimento do processo de cognição humano, potencializar o processo aprendizagem.

Um trabalho publicado por Miller (1956) aponta que o sistema cognitivo humano tem uma capacidade limitada de processar informações. Este limite está especificado em 7 ± 2 unidades de informação. Isto quer dizer que o sistema cognitivo pode processar de 5 a 9 itens ou elementos de informações (números, palavras, pequenas sentenças ou combinações dessas) de uma maneira natural e satisfatória. Quando este número é ultrapassado, o raciocínio e a aprendizagem não são satisfatórios (SANTOS e TAROUCO, 2007). Quando há a necessidade de organizar a processar uma informação, este número pode ser ainda menor.

Deste modo, Sweller (1999) defende que para uma melhor aprendizagem, deve-se controlar a quantidade de informações de acordo com a capacidade de compreensão humana, ou seja, a TCC impõe que há uma impossibilidade natural do ser humano de processar um número muito grande de informações.

Para a teoria, o sistema cognitivo humano é constituído de três sistemas de memória: a sensorial, a de trabalho (memória de curto prazo) e a de longo prazo, que trabalham juntas (SANTOS E TAROUCO 2007).

É na memória sensorial que o processamento da informação se inicia. A memória sensorial é um sistema de memória que através da percepção da realidade pelos sentidos retém por alguns segundos a imagem detalhada da informação sensorial recebida por algum dos órgãos de sentido (DIVIDINO e FAIGLE, 2017). Estas informações serão decodificadas e processadas na memória de trabalho.

De acordo com a TCC (SWELLER, 1999), o pensamento consciente (organizar, comparar e elaborar uma informação) ocorre na memória de trabalho, que tem capacidade limitada de processar informações. Estas limitações se aplicam a novas informações que precisam ser processadas de uma maneira nova.

As informações são armazenadas na memória de longo prazo. Entretanto, para a teoria, ela constitui um componente importante de

todas as atividades cognitivas, incluindo a resolução de problemas de alto nível. Ao resolver um problema, o conhecimento armazenado na memória de longo prazo é processado na memória de trabalho através dos esquemas preexistentes. Para exemplificar, temos em nossa memória de longo prazo milhares de esquemas que nos permitem organizar de múltiplas maneiras as letras e formar as palavras e os textos, e esta organização e processamento ocorre na memória de trabalho. Esta manipulação de letras e palavras só foi possível após muita prática, como aconteceu quando estávamos aprendendo a ler e escrever. Isto sugere que a prática leva a automatização.

Tudo o que é aprendido pode, com a prática, se tornar automatizado. Depois de adquirir prática, as categorias específicas de informação podem ser processadas com o esforço consciente decrescente. Em outras palavras, o processamento automático pode ocorrer com a redução da carga de memória de trabalho.

Uma vez que existe uma impossibilidade natural do processamento simultâneo de um número muito grande de informações, segundo Sweller (1999), para uma melhor aprendizagem deve-se controlar a quantidade de informações simultâneas submetidas ao estudante. Desta forma, a memória de trabalho precisa dar conta de toda a carga cognitiva que lhe é exigida. Se não conseguir, acarretará em prejuízo no aprendizado.

As principais fontes de carga cognitiva são (Winberg e Berg, 2005):

- Carga cognitiva intrínseca (CCI) depende do grau de interatividade entre os elementos na tarefa e se o estudante é familiar com o conteúdo ou não, estando assim relacionada ao conteúdo que será ensinado. A familiaridade com o assunto, ou a aquisição de esquemas adequados, reduz a CCI. Além disso, a prática pode levar à automatização de esquemas, em parte não consciente, o que reduz ainda mais CCI e aceleram os processos de resolução de problemas.
- Carga cognitiva estranha (CCE) resulta do esforço dos estudantes para construir esquemas, como comparar e contrastar novas informações com o conhecimento existente. Esta forma de carga cognitiva está relacionada com a forma/estratégia com que as informações são

apresentadas aos estudantes, ou pelos processos educacionais utilizados pelos estudantes.

Em atividades de laboratório, por exemplo, podem ser encontradas uma quantidade muito grande de informações, e esta quantidade grande impõe uma alta carga cognitiva no estudante, o que pode fazer com que ele não consiga relacionar a teoria com a prática. O mesmo pode acontecer em uma aula expositiva.

Para facilitar a aprendizagem eficaz, inclusive ajudando os estudantes a atribuir alguns aspectos teóricos do exercício de laboratório à memória de trabalho, devemos considerar como reduzir carga cognitiva durante a atividade. De certo modo, diminuir a CCI pode ser uma alternativa viável para melhorar a aprendizagem e os resultados alcançados em relação aos aspectos teóricos da atividade de laboratório (WINBERG e BERG, 2005).

Segundo Sweller, Ayres e Kalyuga (2011, apud RAUBER, 2016), uma atividade com baixa carga cognitiva não é necessariamente uma atividade fácil, como por exemplo, aprender uma nova língua. A dificuldade neste caso advém da quantidade de elementos que devem ser aprendidos, e não da dificuldade relacionada a cada elemento. Os autores definem que a carga cognitiva intrínseca associada a uma atividade é fixa, podendo ser alterada, alterando-se a experiência do estudante ou a forma com que a tarefa é apresentada.

Há algumas formas de se medir a carga cognitiva presente em uma atividade. Uma que vem trazendo bons resultados é apresentada por Sweller, Ayres e Kalyuga (p. 84, 2011, apud RAUBER, p. 79, 2016). A medida é feita através de questionamentos como: “O conteúdo era difícil para você? Quão difícil foi para você aprender com o material? Quanto você se concentrou durante a aprendizagem?”. Apesar de os autores se referirem apenas a estas três perguntas, eles destacam ainda que é importante perceber que há uma diferença entre perguntar ao estudante quão difícil foi realizar a tarefa, e quanto de esforço mental foi utilizado para a realização, pois uma atividade pode ser muito difícil, mas o estudante não se esforçar para realizá-la. Para responder a estas perguntas, é utilizado uma escala de 9 pontos, onde o nível 1 corresponde a uma atividade com baixo esforço mental por exemplo, e 9 uma atividade com muito esforço mental.

Em nosso trabalho optamos por não apresentar os resultados das medidas de carga cognitiva, porém gostaríamos de deixar destacado que é possível realizar esta tarefa para saber se um método influenciou na intensidade de carga cognitiva.

Trabalhos como os de (ZACHARIA, 2006), (WINBERG e BERG, 2005) e (JAAKKOLA e NURMI, 2007) mostram que simulações têm sido propostas como um meio para proporcionar interações intensas com um conceito, facilitando assim, sintonia do conhecimento existente sobre um determinado assunto em um tempo relativamente curto.

Nas pesquisas citadas acima, foram utilizados alguns princípios, também chamados por Sweller de efeitos da carga cognitiva, e serão apresentados a seguir.

3.1 Efeitos da carga cognitiva

No trabalho apresentado por Sweller, Ayres e Kalyuga (p. 88, 2011, apud RAUBER, p. 79, 2016), efeito é definido como:

um efeito é uma demonstração experimental que um procedimento instrucional, baseado nos princípios da teoria da carga cognitiva, que facilita a aprendizagem ou a resolução de problemas em comparação com um procedimento mais tradicional.

Desta forma, entendemos os efeitos como sendo procedimentos didáticos que visam uma redução da carga cognitiva presente na atividade. Em sua dissertação, Rauber (2016) discute detalhadamente cada um destes efeitos, baseando-se no trabalho de Sweller, Ayres e Kalyuga (2011).

Efeito sem objetivo específico. Ocorre quando um problema com um objetivo específico é substituído por um problema que possibilita o estudante a chegar ao máximo de resultados que puder encontrar. Para uma aplicação deste efeito vamos imaginar que um bloco está sujeito às forças peso, normal e força de atrito. Em vez de solicitar ao estudante que sejam calculados estas forças, pode-se solicitar que ele calcule todas as forças possíveis com as informações fornecidas pela questão. Desta forma, o estudante pode ter a carga cognitiva reduzida observando o que lhe foi informado, e imaginando uma possível movimentação.

Efeito de exemplo trabalhado e de problemas a completar. Este efeito ocorre quando um exemplo promove um passo a passo para solucionar um problema, ou quando um problema é resolvido parcialmente e o estudante é instigado a resolver algumas etapas chave.

Desta forma, o estudante desenvolve esquemas para a resolução de outros problemas subsequentes. Este tipo de efeito é indicado principalmente para estudantes novatos em determinada área, pois possuem alta carga cognitiva estranha. Sugere-se ainda que para uma melhor aprendizagem, sejam trabalhados alternadamente exemplos e exercícios similares, ou enfraquecimento de orientação (que será discutido brevemente).

Efeito de divisão de atenção. Neste caso, busca-se integrar as fontes de informação para reduzir a carga cognitiva estranha. Quando duas fontes de informação são separadas espacialmente ou temporalmente, os estudantes ficam sujeitos a uma alta carga cognitiva. Por exemplo, quando um exercício for solicitado ao estudante, sua atenção pode ficar dividida entre os dados fornecidos no exemplo trabalhado e os dados fornecidos pelo exercício. Assim, é necessário que as informações da primeira fonte sejam mantidas na memória de trabalho, atentar-se a segunda fonte e processar a interação entre as fontes que são elementos interagindo. Este efeito somente ocorrerá quando ocorrer uma interação entre as fontes de informação. Os autores sugerem que os textos devem estar posicionados próximos ao que ele se refere, e as falas sincronizadas com as representações visuais.

Para a utilização de uma simulação ou programa de computador, os autores recomendam que é necessário que primeiramente os estudantes aprendam a operá-lo, o que diminuirá a carga cognitiva no tópico específico a ser aprendido.

Efeito modalidade. Este efeito aborda uma forma de lidar com a divisão de atenção utilizando os canais auditivos e visuais. A finalidade deste efeito é reduzir a carga de memória sensível em um dos canais. Como exemplo, os autores sugerem que ao ser apresentado um diagrama e se faz necessário uma explicação sobre este, ela deve ser feita através de texto falado ao invés de texto escrito. Segundo as teorias mais atuais, há dois processadores que trabalham separadamente para lidar com as informações visuais e auditivas, ambos com capacidades limitadas. Ao se utilizar o efeito modalidade, a carga é reduzida sobre os dois processadores, pois estes são parcialmente independentes.

Para a obtenção deste efeito, os autores elencam algumas condições: as informações esquemáticas e textuais devem estar interligadas e somente devem ser trabalhadas juntas se forem complementares e a interatividade entre elementos deve ser alta (se cada uma for entendida separadamente, uma das informações deve ser descartada – efeito da redundância); o texto falado não deve ser muito extenso (caso o seja, deve ser escrito), pois se for muito extenso ele não

será retido e processado na memória de trabalho; caso os diagramas sejam muito complexos, sugere-se o uso de sinalizações como setas para reter a atenção dos estudantes nas partes visuais, a ser referidas pelas informações auditivas.

Efeito de redundância. Este efeito ocorre quando uma informação redundante resulta em menor aprendizado do que com a mesma informação sem o material redundante. Desta forma, o material redundante deve ser omitido, afim de prevenir que o estudante tenha sua atenção focada no material redundante, aumentando assim a carga cognitiva estranha. Como exemplo, se um diagrama for autoexplicativo, não é necessário um texto para explicá-lo. O texto neste caso é o material redundante.

Efeito reverso de experiência. Este efeito baseia-se no fato de que para estudantes novatos em determinada área, informações adicionais são necessárias para ocorrer o aprendizado, mas para estudantes experientes, estas informações podem se tornar redundantes e devem ser evitadas. Uma vez que determinado esquema (informação) já está na memória de longo prazo, não é necessário apresentá-lo novamente, pois pode aumentar a carga cognitiva estranha. Desta forma, os materiais instrucionais devem ser adequados para os níveis de informações que os estudantes adquirem. Para estudantes novatos, os materiais instrucionais devem ser detalhados, e as informações interligadas o máximo possível (obedecendo os demais efeitos já citados). Para os estudantes intermediários, alternar o fornecimento de informações com a resolução de exercícios com ajuda reduzida, e para os estudantes experientes, os autores sugerem resolução de exercícios com ajuda mínima.

Efeito de enfraquecimento de orientação. Este efeito é baseado na diferença entre os estudantes experientes e novatos e deriva do efeito reverso de experiência. Segundo os autores, a ajuda ou orientação deve diminuir conforme a experiência do estudante aumenta. Para estudantes novatos, exemplos resolvidos e outras orientações são importantes, porém podem ser redundantes para estudantes experientes.

Efeito de imaginação. Neste efeito não altera-se o material a ser utilizado, entretanto, encoraja-se o estudante a imaginar um procedimento para a resolução de um problema, diferente daquele que foi trabalhado no exemplo. Este efeito é sugerido para estudantes que já possuem informações necessárias para a resolução de um problema.

Efeito de autoexplicação. Este efeito está relacionado ao efeito de imaginação, e ocorre quando o estudante imagina um procedimento para a resolução de um problema, e relaciona-o com os princípios conhecidos em certa área. Autoexplicações facilitam a aquisição de conhecimento e

entendimento, fortalecendo os esquemas mantidos na memória de longo prazo.

Efeito de interatividade de elementos. Enquanto que os outros efeitos possuem como foco a redução da carga cognitiva estranha, este efeito visa uma redução da carga cognitiva intrínseca, que é determinada pelo nível de interação entre os elementos de informação essencial. Este efeito aborda o desafio de ensinar novos conceitos complexos e com alta interatividade que demandam um processamento maior do que a capacidade de memória de trabalho.

O nível de interatividade dos elementos depende do nível de experiência dos estudantes. Aumentando-se o nível de experiência, os esquemas podem ser tratados como um único esquema simples. Normalmente, um mesmo material pode ter um nível de interatividade alta para um estudante novato em determinado conteúdo, mas para um estudante experiente, o nível de interatividade é baixo, pois esquemas já estão incorporados à memória de longo prazo, oferecendo menor demanda à memória de trabalho. Desta forma, a carga cognitiva intrínseca só pode ser diminuída ou aumentada, alterando-se o que será ensinado ou alterando-se o conhecimento prévio dos estudantes.

Os autores sugerem que para que haja uma redução na carga cognitiva intrínseca, os conteúdos abordados devem ir de uma parte para o todo. Desta forma, não estará se reduzindo a dificuldade dos conteúdos, mas controlando-se a quantidade de informações processadas na memória de trabalho. Estudantes com mais experiência podem lidar com um número maior de elementos interagindo.

Efeito da informação transiente. Este efeito ocorre quando o estudante sofre uma perda de conhecimento antes mesmo de ele ser processado na memória de trabalho e ser armazenado na memória de longo prazo. Uma grande quantidade de informações fornecida aos estudantes leva a este efeito. Como exemplo, imagine que você diga seu número de telefone com 9 algarismos para alguém. É muito provável que a sequência não seja lembrada se for dita apenas uma vez, pois esta não foi trabalhada na memória de trabalho.

Efeito da memória de trabalho coletiva. Este efeito é verificado quando os estudantes adquirem melhor aprendizado trabalhando em grupo do que o comparado aos estudos individuais. Este efeito é indicado para atividades com altos níveis de interatividade, e possui bons resultados quando os estudantes se sentem engajados, entretanto pode trazer um efeito inverso quando os estudantes ficam dependentes de outros colegas, aproveitando-se deles.

A tabela 1, elaborada por Sweller, Ayres e Kalyuga (2011) e adaptada por Rauber (2016), resume cada um dos efeitos.

Tabela 1 – Resumo dos efeitos da TCC.

Efeito	Descrição
Sem objetivo específico	Um problema é apresentado sem um objetivo específico.
Exemplo trabalhado e de problemas a completar	Atividades resolvidas ou parcialmente resolvidas.
Divisão de atenção	Refere-se a forma de apresentação do material, o qual deve ser o mais integrado possível.
Modalidade	Busca valer-se dos canais visuais e auditivos para facilitar a aprendizagem.
Redundância	Fontes de informação que exploram canais diferentes são apresentadas simultaneamente, mas podem ser entendidas separadamente.
Reverso de experiência	Baseia-se na combinação de materiais e aprendizes, onde informações essenciais para um novato podem ser redundantes para um aluno com maior expertise.
Enfraquecimento de orientação	A ajuda ou orientação a alunos deve diminuir conforme sua experiência aumenta.
Imaginação e Autoexplicação	Reprodução mental de um conceito ou procedimento, podendo relacioná-lo a um princípio da área em estudo.
Interatividade de elementos	O aprendizado de materiais muito complexos pode ser facilitado pela forma de sua apresentação ou aumentando a experiência do aluno.
Informação transiente	Perda de aprendizagem devido a informação desaparecer

	da memória de trabalho antes de criar um vínculo com a memória de longo prazo.
Memória de trabalho coletiva	Quando aprendizes obtêm melhor resultado no aprendizado através de trabalho colaborativo em detrimento a estudar sozinho.

Fonte: Rauber (2016). Adaptado de Sweller, Ayres e Kalyuga (2011).

3.2 Como os efeitos da TCC foram utilizados na elaboração da sequência

Durante as discussões sobre determinado assunto, buscou-se diminuir as informações redundantes, focando apenas nos conceitos necessários para se aprender determinado conteúdo. O efeito modalidade aconteceu para a discussão dos conceitos trabalhados, uma vez que não foram trabalhados textos com os estudantes. Por exemplo, para a discussão das relações entre força de atrito, coeficiente de atrito e força normal, os esquemas apresentados no quadro foram discutidos através de falas, em vez de textos escritos. O mesmo ocorreu para as instruções iniciais para a manipulação das simulações.

Para cada lista de exercícios realizada pelos estudantes, foi levado em consideração os seguintes efeitos: enfraquecimento de orientação, exemplo trabalhado e de problemas a completar, imaginação, autoexplicação, reverso de experiência, e efeito sem objetivo específico (em algumas questões).

Ao iniciar uma lista de atividades, iniciamos por exemplos simples, que possuem uma quantidade pequena de informações, aumentando o número de elementos à medida que o estudante se torna mais experiente. Assim que os estudantes já adquiriram certo nível de conhecimento para a realização de uma tarefa, os estudantes foram encorajados a fazê-los. Para os estudantes que necessitavam de mais de dois ou três exemplos trabalhados, o professor fez a orientação necessária individualmente, diminuindo a orientação conforme o estudante se tornava mais experiente.

Em nossa sequência de aulas, buscamos controlar o número de informações/conceitos trabalhados inicialmente, afim de não elevar o nível de carga cognitiva acima da capacidade de memória de trabalhos dos estudantes.

Como exemplo, citamos o fato de a força de atrito ser abordada de maneira geral no início, buscando quais fatores influenciam na sua

intensidade e sua importância para as atividades que envolvem movimento ou equilíbrio. As equações sobre força de atrito foram trabalhadas após serem discutidos os conceitos iniciais. O mesmo ocorreu na discussão da segunda lei de Newton. Primeiramente, os estudantes determinaram a relação entre força e aceleração mantendo a massa constante, em seguida a relação entre massa e aceleração mantendo a força aplicada constante, para finalmente buscar uma relação entre as três grandezas. Após estas informações serem trabalhadas, acrescentamos a força de atrito, para a discussão da relação entre as grandezas força resultante, massa e aceleração.

Procuramos assim controlar a carga cognitiva presente durante as aulas controlando-se o número de informações (elementos interagindo) e buscando aumentar a interatividade, alterando-se o conhecimento do estudante. A medida que o estudante fosse aumentando seu nível de conhecimento, outras informações (conteúdos) eram trabalhadas.

No início de cada aula, os conceitos discutidos em aulas anteriores foram lembrados. Segundo o efeito da informação transiente, alguns elementos podem ser esquecidos antes mesmo deles serem processados e armazenados na memória de longo prazo. Desta forma, buscou-se trazer à memória de trabalho os conceitos discutidos anteriormente e processá-los novamente a fim de aprimorar os esquemas já armazenados. Para os estudantes que não conseguiram armazenar nenhuma informação na memória de trabalho, teve-se a intenção de trabalhar novamente certo conceito a fim de fazê-lo obter algum esquema em sua memória de longo prazo.

O efeito da memória de trabalho coletiva foi utilizado para a realização das atividades com simulações e experimentos. Este efeito pode ter auxiliado os estudantes na realização das tarefas solicitadas nos procedimentos, uma vez que a carga cognitiva da atividade foi dividida entre os estudantes. Um dos estudantes realizou a manipulação da simulação, enquanto que os outros atentaram-se aos procedimentos, fornecendo as instruções ao que estava fazendo a manipulação. Ao realizar a tarefa, os estudantes puderam observar como variavam as grandezas na simulação, fazendo uma discussão dos resultados obtidos.

Durante as atividades com simulações, a quantidade de informações processadas em cada atividade foi controlada para não elevar a carga cognitiva da atividade. Uma mesma simulação foi utilizada para a discussão de força de atrito, primeira lei de Newton e segunda lei de Newton. Cada atividade foi realizada separadamente em dias diferentes e os conceitos foram trabalhados de forma isolada no

início, aumentando-se o nível de interação entre eles a medida que os estudantes obtivessem mais experiência.

As atividades com simulações possibilitaram um aumento da capacidade de processar informações durante as atividades experimentais e atividades teóricas. O desenvolvimento de habilidades e conhecimentos pode ter ocorrido através da interação com a simulação. Ao realizarem as manipulações de variáveis e coleta de dados, assim como a discussão dos conceitos envolvidos, possibilitou a aquisição de esquemas importantes para a realização das atividades experimentais e teóricas resolvidas em sala.

A literatura referenciada neste capítulo aponta que o nível de conhecimento do estudante influencia no processamento de informações. Desta forma, aumentando-se o nível de conhecimento dos estudantes antes das atividades teóricas propostas e atividades experimentais, buscou-se promover uma redução da carga cognitiva presente nestas atividades.

4 O USO DE SIMULAÇÕES E ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA

Diversos trabalhos apontam que os estudantes sentem-se interessados com aulas diferenciadas, como por exemplo quando são utilizados experimentos e simulações. Estas ferramentas apresentam vantagens e desvantagens. Giordan (1999), afirma que os alunos querem ver algo funcionar, ou se movimentar, acender uma lâmpada entre outras coisas, fugir um pouco do formalismo matemático visto no seu dia-a-dia na escola. Já os professores de física enxergam a experimentação como uma possibilidade de incentivar o estudante a pensar em determinado conceito ou fenômeno, extraindo algum conhecimento disto. Porém, alguns trabalhos mostram que exercícios de laboratório normalmente exigem dos estudantes uma grande capacidade de raciocínio e percepção, impedindo o desempenho durante esse trabalho (WINBERG e BERG, 2005).

O uso de simulações permite unir imagem, teoria e realidade. Elas permitem manipular variáveis, analisar um fenômeno de forma animada, com movimento, como acontece na realidade, diferente da forma estática como é apresentada no quadro e nos livros didáticos (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002). Para contornar a dificuldade de representar um objeto em movimento, os livros didáticos utilizam truques como o de representar várias imagens seguidas com o objeto em diferentes posições em diferentes intervalos de tempo. Outro truque utilizado é a colocação de linhas que representam o movimento na direção da velocidade, ou deformações nos objetos que estão em movimento. Espera-se que com isso, o estudante torne em sua mente a situação representada na imagem, uma imagem animada.

Quando as imagens desejadas pelos professores não estão representadas nos livros, ou mesmo os estudantes não têm livros para o estudo, o professor é o responsável em desenhar no quadro estas imagens, o que não é uma tarefa muito fácil e ainda toma muito tempo da aula. A simulação computacional pode ser uma ferramenta muito útil e importante para resolver estes problemas. Como exemplo, podemos citar a simulação *Força e Movimento*, do PhET Colorado. Nesta simulação, os estudantes podem observar por exemplo, que aumentando a força aplicada sobre um objeto, a força de atrito aumenta até um valor máximo e para forças maiores do que esta, o objeto entra em movimento, reduzindo o valor da força de atrito. É possível observar ainda que quanto maior a força resultante aplicada sobre o objeto, maior será a aceleração do mesmo. Ao manipular a simulação, os conceitos de

força resultante e aceleração podem passar despercebidos para o estudante, mas o conceito chave para a compreensão da relação entre força, massa e aceleração poderá estar mais acessível ao estudante quando realizada a discussão em sala de aula.

A utilização da simulação permite a realização de experimentos virtuais quando a atividade experimental é inacessível ao professor, como por exemplo quando são discutidos conceitos relacionados ao movimento de um corpo livre da resistência do ar. Encontrar um experimento para tal situação pode ser impossível em uma sala de aula. Para justificar esta ideia, Medeiros e Medeiros (2002) afirmam que: “*As simulações podem ser bastante úteis, particularmente quando a experiência original for impossível de ser reproduzida pelos estudantes*” (MEDEIROS e MEDEIROS, p. 79, 2002).

Entretanto, como o laboratório didático, as simulações computacionais também apresentam alguns desafios/dificuldades relacionados ao ensino. Dentre eles pode-se citar a falta de confiança na simulação em alguns casos. Os estudantes nem sempre acreditam que as leis e princípios que uma simulação demonstra também se aplicam no mundo real. Isto acontece porque a simulação corresponde a um modelo da realidade, que despreza diversos aspectos particulares da natureza, proporcionando ao estudante a interação com uma representação do objeto ou fenômeno escolhido, a fim de facilitar a compreensão de determinado fenômeno físico (HEIDEMANN et al., 2012). Esta é corroborada por Medeiros e Medeiros (2002, p. 80), que afirmam que “*um sistema real é frequentemente muito complexo e as simulações que o descrevem são sempre baseadas em modelos que contêm, necessariamente, simplificações e aproximações da realidade*”. Além disso, as simulações podem apresentar as informações através de múltiplas representações, como por exemplo gráficos e tabelas, ou fórmulas matemáticas.

Para contornar estas dificuldades, o bom conhecimento da simulação permite ao professor mostrar um caminho para que o estudante consiga utilizar a simulação de modo apropriado para a construção do conhecimento. A interação com a simulação permite ao estudante o desenvolvimento de modelos mentais e a compreensão da ciência. Segundo Wieman, Adams e Perkinns:

Quando algo inesperado acontece, o aluno questiona sua compreensão e altera parâmetros na simulação para explorar e melhorar seu

entendimento - abordagens semelhantes aqueles tomados por um cientista que trabalha com experimentos.
(WIEMAN; ADAMS; PERKINS; 2008, p. 682, tradução nossa).

Um site muito conhecido pelos professores da área de ciências é o PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado². Neste site são encontradas 98 simulações de física, bem como várias simulações para química, biologia, ciências da terra e matemática (algumas são utilizadas em mais de uma área, por exemplo química e física). As simulações permitem ao estudante ou professor a manipulação de parâmetros para uma análise mais criteriosa dos fenômenos presentes no aplicativo, como por exemplo na simulação de construção de circuitos elétricos, a possibilidade de ligações com lâmpadas, fios, geradores, entre outros dispositivos que fazem da atividade uma aproximação muito boa da realidade.

Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto [...] cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências. As simulações PhET baseiam-se em extensa pesquisa em educação e envolvem os alunos através de um ambiente intuitivo, estilo jogo, onde os alunos aprendem através da exploração e da descoberta.
(PHET INTERACTIVE SIMULATIONS, 2019).

As simulações do PhET podem ser executadas em navegadores da Web, baixadas para serem executadas sem estar conectados a rede, além da possibilidade de execução em tablets e smartphones. O site fornece ainda uma área destinada à professores, com dicas de uso, como planejar atividades do PhET, demonstração de palestras interativas com uma série de vídeos, além de atividades prontas para o uso de cada simulação, que podem ser baixadas e modificadas conforme a necessidade do professor. A utilização destas simulações pode ser utilizada de diversas formas (MIRANDA, ARANTES e STUDART, 2011, apud WIEMAN, 2010), como por exemplo, em aulas expositivas para a discussão de conceitos abstratos, como elétrons, campo elétrico e magnético, fótons, entre outros. Pode ser utilizado como atividade em grupo a ser realizado na escola, na sala de informática se for utilizado em computadores, onde os estudantes são submetidos a um roteiro que

² Disponível em: <<https://phet.colorado.edu/>>

Ihes permita investigar fenômenos explorando as relações de variáveis de um dado fenômeno, desenvolvendo assim seus modelos mentais. A terceira maneira de utilização é como lição de casa, onde o estudante pode através de um roteiro ou de maneira livre, aprofundar os conceitos discutidos em sala, ou como introdução para um novo conceito a ser discutido em aulas posteriores. E por último, a simulação pode ser utilizada como laboratório, na falta de possibilidades de realização de uma atividade experimental.

Entretanto, a simulação não é uma única solução para os problemas de ensino de física. Em alguns casos ela se torna essencial, em outros ela pode auxiliar o aprendizado em uma atividade futura, dando uma base para que o estudante possa aproveitar melhor determinada atividade. Portanto, uma atividade com simulação pode “*servir como uma preparação inicial para ajudar na compreensão do papel de um laboratório*” (MEDEIROS e MEDEIROS, p. 80, 2002) ou de uma atividade experimental.

Segundo Araújo e Abid (2003), a atividade experimental é uma forma complementar que permite ao estudante uma reestruturação de seus modelos dos fenômenos estudados em sala de aula, pois estas atividades podem ser utilizadas como verificação de leis e teorias, ou como estratégia que privilegia condições para os estudantes refletirem e reverem suas ideias dos conceitos e fenômenos abordados. Entretanto, se as atividades experimentais não levarem em consideração as concepções espontâneas dos estudantes e não permitirem discussões e reflexões de tais concepções, pode-se observar certa limitação desta estratégia. Para contornar esta limitação, Araújo e Abid (2003) defendem que:

As atividades experimentais quantitativas podem ser enriquecidas adotando-se uma postura mais flexível, que possibilite a introdução de outros elementos e métodos, como discussões que propiciem reflexões críticas acerca dos fenômenos estudados e da estrutura de funcionamento dos equipamentos utilizados, bem como dos elementos e fatores que influenciam o experimento e que podem acarretar eventuais discrepâncias entre os resultados observados experimentalmente e as previsões teóricas que se pretendia verificar.

(ARAÚJO e ABID, 2003, p. 181).

Portanto, quando utilizadas de maneira conjunta e bem planejada, a experimentação e a simulação possuem uma grande possibilidade de oferecer bons resultados (Jaakkola e Nurmi, 2007; Winberg e Berg, 2005; Zacharia, 2006).

Em um estudo realizado em 2005, Winberg e Berg, analisaram e avaliaram o efeito que a exposição à uma simulação tem no foco cognitivo dos estudantes durante o trabalho de laboratório. Neste estudo dois grupos foram analisados, um grupo usou somente atividade experimental (grupo de controle) e um grupo utilizou uma combinação de simulação digital e atividade experimental (grupo experimental).

Segundo os autores, durante um trabalho de laboratório, os estudantes estão submetidos a uma alta carga cognitiva, o que dificulta o estabelecimento de relações entre a teoria envolvida e o experimento, pois ficam muito preocupados com os procedimentos. Os autores discutem como o uso de simulações podem ser utilizadas como um meio para proporcionar interações intensas com um conceito, para proporcionar uma redução da carga cognitiva presente na atividade.

Os resultados deste estudo mostram que os estudantes que completaram os exercícios com a simulação, utilizaram os conceitos químicos necessários, de maneira isolada e/ou integrada, mais facilmente durante o exercício de laboratório. As perguntas para os professores durante o laboratório foram quase exclusivamente com o objetivo de compreender a química relacionada com o exercício de simulação. Isto mostrou que os estudantes estavam mais preocupados com a teoria envolvida, enquanto que no grupo de controle, que não utilizou o simulador, os estudantes estavam mais preocupados com o procedimento, lançando assim poucas perguntas reflexivas para os professores.

Outro estudo foi realizado por Jaakkola e Nurmi (2007) para investigar se o aprendizado de circuitos elétricos através de uma combinação de simulação computacional e laboratório é mais vantajoso que utilizá-los separadamente. Nessa investigação os estudantes foram divididos em três grupos. O primeiro trabalhou apenas com simulação computacional, o segundo trabalhou apenas com laboratório e o terceiro utilizou uma combinação de simulação computacional e laboratório. A hipótese do trabalho era que os estudantes entenderiam mais facilmente os princípios teóricos através das simulações, e observariam que eles também se aplicariam fora do ambiente de simulação.

Os resultados indicaram que a simulação parece ter um impacto crítico sobre o desenvolvimento conceitual. A maioria estudantes do grupo que utilizou as simulações e experimentos de forma combinada

apresentou melhoras em suas concepções (verificadas através da realização de pré e pós testes), enquanto mais da metade dos estudantes que utilizou somente a atividade experimental não apresentou melhoras significativas. Sobre o grupo que utilizou apenas a simulação, os autores afirmam que apesar de apresentarem indícios de aprendizagem é importante a obtenção de experiência com circuitos reais (JAAKOLA; NURMI, 2007).

Zacharia (2006) realizou um estudo no qual queria verificar se seria melhor combinar laboratório real (LR) e laboratório virtual (LV) em vez de usar LR sozinho. Este estudo foi realizado com dois grupos, um usou somente LR e outro grupo usou a combinação de LV e LR.

Os resultados da pesquisa apontam que o grupo que utilizou os recursos combinados teve um melhor avanço conceitual, relativos à medição num circuito com múltiplas baterias e relacionadas a segunda lei de Kirchhoff, do que o grupo que utilizou apenas experimentação. O uso de LV apareceu para promover melhor compreensão conceitual dos estudantes sobre circuitos elétricos, particularmente, as concepções de medição de tensão (Baterias múltiplas e Segunda lei de Kirchhoff) do que o uso de LR. Segundo o autor, a evolução conceitual poderia ser relacionada a manipulação oferecida no LV.

A investigação destes autores sugere que não deve-se ver simulações de computador e laboratório como métodos substitutivos ou concorrentes no ensino de ciências (como é feito tradicionalmente), mas como complementares entre si.

4.1 Revisão sobre o uso das simulações para o ensino de Física no Brasil

Buscamos nas publicações da Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) e no Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), os trabalhos publicados de 2001 à 2019 referentes ao uso da simulação no ensino de física.

Foram encontrados no período 70 trabalhos. Na RBEF foram publicados 13 trabalhos (18,6%), no CBEF 12 trabalhos (17,1%) e no SNEF 45 trabalhos (64,3%). Estes trabalhos se dividem nas áreas: eletromagnetismo 13 trabalhos (18,6%), terminologia 11 trabalhos (15,7%), física moderna 11 trabalhos (15,7%), ondas 2 trabalhos (2,8%), óptica 1 trabalho (1,4%) e mecânica 23 trabalhos (32,8%). Há ainda os trabalhos que discutem as possibilidades de uso de simulação computacional mas sem atribuir uma área específica. Foram 10 trabalhos (14,3%) nesta perspectiva.

Na área de mecânica, os trabalhos se dividem em: cinemática 4 trabalhos (17,4%), dinâmica 6 trabalhos (25%), energia mecânica 3 trabalhos (13%), MHS e oscilações 6 trabalhos (26%), gravitação 2 trabalhos (8,7%), hidrodinâmica 1 trabalho (4,3%), mecânica em geral 1 trabalho (4,3%), e estática 1 trabalho (4,3%).

4.1.1 Uso das simulações para o ensino de dinâmica

Na pesquisa realizada, 6 trabalhos discutem as possibilidades de uso das simulações para o ensino de conceitos que envolvem dinâmica. Vou discutir aqui alguns destes trabalhos.

Duarte e Moraes (2009) e Duarte (2012) apresentaram uma proposta de utilização de simulações para auxiliar o estudante na discussão de modelos teóricos estudados em dinâmica de rotações no ensino médio. A ferramenta utilizada para a simulação foi o *Modellus*, que permite a comparação e a conexão de modelos matemáticos com movimentos reais filmados a partir de experimentos realizados pelos estudantes. Estas simulações são utilizadas para explicar resultados de experimentos concretos, através de uma interação com uma representação virtual do modelo matemático. Como exemplo, uma parte da atividade tem como objetivo mostrar o comportamento de um sistema girante (duas esferas presas a uma haste, formando um altere) quando se aplicam forças em posições diferentes em relação ao eixo de rotação. O estudante faz a filmagem e a simulação reproduz o comportamento do sistema girante. Em seguida o estudante pode comparar com o modelo teórico fornecido pela simulação. Ao fazer isso, são discutidos os conceitos de torque, momento de inércia e a relação matemática entre estas grandezas. Os autores concluem que este tipo de atividade

tem um grande potencial para atrair o interesse do aluno. Além disso, pela nossa proposta, passamos ao estudante a imagem da Física como uma Ciência que investiga a realidade pela experimentação, produzindo modelos que tentam explicá-la.

(DUARTE e MORAES, 2009, p. 7).

Outro trabalho que investigou se uma simulação pode causar ressignificações conceituais nos estudantes, é apresentado por Nogueira

et al. (2007). Para isto, os autores abordaram a temática de colisões inelásticas, dentro do conteúdo de quantidade de movimento. A investigação foi realizada numa turma de 16 estudantes do primeiro ano de uma escola Técnica de Minas Gerais, que até então não haviam tido contato com o conteúdo abordado. Os resultados da investigação foram obtidos a partir da análise de um pré-teste e de um pós-teste. Após a realização do pré-teste, os estudantes realizaram a atividade com a simulação seguindo um roteiro pré-estabelecido. Os autores destacaram que sem um roteiro de orientação, não era obtido um resultado significativo, pois os estudantes enxergavam as atividades como jogos e logo se cansavam. Para estes autores, o uso das simulações deve vir acompanhado de um roteiro ou guia para direcionar o uso da simulação, esclarecendo qual relação o estudante deverá estabelecer. Após a atividade com simulação, os estudantes realizaram o pós-teste e, através de uma análise destes, os autores concluíram que houve uma visível melhora nas respostas dos estudantes, levando-os a reduzir a correlação entre força e velocidade e aumento na correlação massa-velocidade como determinantes na quantidade de movimento de um corpo. Foi notado ainda que as respostas possuíam uma argumentação consciente, relacionando os fenômenos à quantidade de movimento, porém alguns conceitos espontâneos se mantiveram em algumas respostas. Devido a isso, destacaram a necessidade de diferentes recursos, pois a simulação não bastou como recurso para o ensino do conteúdo proposto, mas *“podem ser utilizadas para iniciar a discussão sobre um tema já que o mostra de maneira lúdica ou como balizador do aprendizado já que oferece a possibilidade de trata-lo de forma qualitativa e quantitativa”* (NOGUEIRA et al., 2007, p. 10).

Silva, Nunes e Mercado (2016) apresentaram uma proposta de investigação sobre o uso de experimentos virtuais (simulações) desenvolvido no componente curricular Estágio Supervisionado 3, ofertado ao curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) com um grupo de 8 estagiários. A investigação teve por objetivo explorar as potencialidades didáticas dos experimentos virtuais, assim como analisar as contribuições destes recursos para a formação inicial dos professores. Os estagiários foram divididos em duplas e cada dupla elaborou duas micro aulas abordando os seguintes conteúdos: dilatação térmica, energia mecânica, oscilações, movimento retilíneo e uniforme, leis da dinâmica de Newton, força resultante, vetores e rotações. Em todas as micro aulas, as simulações foram utilizadas para demonstrações experimentais, sendo usado apenas um computador e um projetor. Os relatos dos estagiários apontaram que as

escolas em que foram aplicadas as micro aulas não possuíam computadores funcionando na sala de informática, devido a isso foi utilizado o projetor para reproduzir as simulações em sala de aula, e a falta de tempo impediu que todos os estudantes fizessem a manipulação da simulação. O presente trabalho sugere ainda que as simulações não devam substituir os experimentos reais, mas sim servir como complemento de uma atividade experimental, desta forma defende o uso combinado destas duas abordagens. A presente pesquisa não abordou se a utilização de simulação tenha trazido um maior aprendizado por parte dos estudantes, mas defende que a simulação facilita a visualização de conteúdos ministrados, uma vez que certos conteúdos possuem certo grau de abstração. A simulação é vista ainda como uma forma alternativa de fugir do método tradicional. Segundo os autores, a simulação *“permite a contextualização, a motivação, o despertar da curiosidade e a visualização dos comportamentos dinâmicos descritos verbalmente ou textualmente no modelo explorado”* (SILVA, NUNES e MERCADO, 2016, p. 1137).

Os trabalhos apresentados por Foryta et. al (2003) e Reis et. al (2003), publicados na XV SNEF também abordam o ensino de colisões/quantidade de movimento.

4.1.2 Revisão dos trabalhos que abordam o uso combinado de simulação e experimentação no ensino de Física

Na revisão bibliográfica, observamos que dos 70 trabalhos publicados, 20% (14) abordam e discutem o uso combinado de simulação e experimentação ou fazem uma comparação entre estas abordagens. As pesquisas exploram tópicos de lançamentos de projéteis (LEAL et al., 2015), mecânica, eletromagnetismo e física moderna (NEVES et al., 2013), conceitos relacionados à mecânica (SILVA, MENEZES e BATISTA, 2013; MENDES, COSTA e SOUZA, 2012; DUARTE e MORAES, 2009; DUARTE, 2012), circuitos elétricos (LOPES et al., 2009; SCHUHMACHER et al., 2005; SANTOS e DICHMAN, 2019), energia térmica (MORO, NEIDE e VETTORI, 2015; MORO, NEIDE e REHFELDT, 2016), hidrodinâmica (SOUZA e MELLO, 2017), e outros trabalhos apresentam as simulações como complementos para o laboratório real (JOÃO, CÂMARA e VICENTE, 2015; MEDEIROS E MEDEIROS, 2002). Nesta seção serão abordados alguns destes trabalhos, dando ênfase aos que tratam da mecânica.

Leal et al. (2015) apresentaram uma proposta de combinação de simulações, experimentos e intermediação do professor, aplicado a uma turma de 1º ano do Ensino Médio de uma escola estadual para a discussão dos conceitos relacionados à movimento de projéteis. A execução da aula se deu através de um roteiro, que contemplou um levantamento do conhecimento prévio dos estudantes sobre movimento de projéteis, experimento utilizando um lançador de projéteis acoplado a um plano inclinado móvel e simulação computacional do movimento de projéteis através do *Modellus*. A intermediação do professor ocorreu durante a atividade experimental e atividade com simulação, além da resolução de um exercício proposto num livro utilizado na turma. Os resultados da pesquisa mostraram que os estudantes melhoraram seus conhecimentos sobre movimento de projéteis, no entanto, algumas noções erradas sobre este fenômeno ainda permaneceram. A realização da simulação permitiu a visualização e discussão dos principais fatores que influenciam no movimento de projéteis, como o ângulo de lançamento e velocidade inicial. A realização de exercícios e a interação do professor são fundamentais para esclarecer as dúvidas sobre o fenômeno analisado. Desta forma, os autores concluíram que esta combinação pode fazer com que os conceitos sobre movimento de projéteis sejam integrados de maneira mais coerente.

Mendes, Costa e Souza (2012) apresentaram os resultados de uma pesquisa realizada com estudantes do 1º ano do Ensino Médio, sobre o uso de atividades experimentais conjuntamente com simulações computacionais para o ensino de mecânica – leis de Newton. O produto aplicado consiste de duas atividades experimentais e três simulações computacionais feitas através da modelagem computacional com o *software Modellus*. A hipótese dos autores para a aplicação supõe que a integração entre teoria e experimentos através da modelagem computacional e simulações promove a disposição dos estudantes e favorece uma aprendizagem significativa. Para confirmar sua hipótese, a aplicação se deu em 4 grupos: o primeiro grupo utilizou apenas atividades experimentais, o segundo grupo realizou apenas modelagem computacional e simulação, o terceiro grupo utilizou modelagem computacional e atividades experimentais e um grupo teve aulas tradicionais. Para todos os grupos foram aplicados testes antes e depois das intervenções. As atividades aconteceram em 8 encontros para cada grupo. Os resultados da pesquisa indicaram que houve diferenciação no desempenho destes grupos, sendo que para alguns problemas (os autores não apresentaram quais problemas), a atividade experimental pode ser mais eficiente, enquanto que para outros problemas a modelagem e

simulação são mais eficientes, mas no geral a combinação das duas abordagens é mais efetiva no desenvolvimento do aprendizado. Segundo a opinião dos estudantes, a combinação das duas abordagens se mostrou favorável ao aprendizado, pois são mais interessantes e facilitam a aprendizagem. Foi observado ainda que as atividades com simulação promovem uma melhor compreensão da linguagem matemática, dos fenômenos e das tecnologias desenvolvidas a partir dos conhecimentos adquiridos em física.

Outra pesquisa que busca as implicações do uso combinado de simulação e experimentação foi apresentada por Souza e Mello (2017). A pesquisa foi realizada em duas turmas de 2º ano do ensino médio, uma de um colégio estadual de Aracaju – SE e uma no Colégio de Aplicação da Universidade Federal do Sergipe abordando o conteúdo de hidrodinâmica. As atividades experimentais iniciaram com uma oficina de construção de aviões de papel, visando a busca das concepções prévias dos estudantes e discussão dos conceitos relacionados ao voo de um avião. Foram realizadas ainda outras 4 atividades experimentais, sendo a primeira para lembrar como se determina velocidade média, a segunda para discutir ação e reação com a utilização de um balão preso a um canudo, a terceira os estudantes construíram uma asa de avião de papel para analisar como o vento (produzido por um ventilador) se comporta quando passa pela asa e a quarta para comprovar o efeito de Bernoulli, utilizando um canudo e um copo de água. Para as simulações de voos foi utilizado o *software* de ensino Modellus. A avaliação da proposta é realizada através da aplicação de pré e pós-testes e através de jogos educativos, como o caça-palavras, jogo dos sete erros e cruzadinha. As ferramentas de coleta de dados permitiram obter dados qualitativos e quantitativos. Os autores expressaram que as atividades experimentais, iniciadas pelo campeonato de aviões de papel foram motivadoras para introduzir o conteúdo de hidrodinâmica e revisar os conceitos de mecânica que influenciam no movimento dos aviões, despertando assim o gosto pela Física e contribuindo para uma maior aprendizagem. As simulações ajudaram os estudantes na compreensão de conteúdos abordados, assim como a visualização do problema físico modelado. Durante as atividades com simulação, os estudantes também demonstraram interesse e surpresa. A comparação entre os pré e pós-testes, assim como a análise dos jogos didáticos mostrou que os estudantes alcançaram uma evolução no uso de concepções científicas.

Além de utilizadas em conjunto com atividades experimentais em sala de aula, Silva, Menezes e Batista (2013) apresentaram uma proposta de utilização de quatro aplicativos computacionais que simulam

equipamentos lúdico-educativos do Parque Viva a Ciência na UFSC, que foi um espaço de divulgação científica voltado a estudantes, professores e público em geral. As simulações podem ser utilizadas antes ou depois da visitação ao parque, e tem como função a discussão da física básica que está por trás do funcionamento dos brinquedos. As quatro simulações apresentadas foram utilizadas para a discussão de conceitos de mecânica, tais como: momento de forças, alavancas, oscilações, orientação espacial, centro de massa e equilíbrio. Os autores defendem que as atividades com simulação “*podem potencializar o aprendizado associado à experiência vivida durante a visita ao Parque (apesar de também poderem ser utilizadas independentemente da visita)*” (SILVA, MENEZES e BATISTA, 2013, p. 2).

Os trabalhos de Moro, Neide e Vettori (2015) e Moro, Neide e Rehfeldt (2016) mostraram que a combinação de simulações e experimentos também podem ser utilizadas para abordar conceitos de transferência de energia térmica. A pesquisa realizada numa turma de 2º ano do ensino médio mostrou que a combinação proposta possibilitou a relação entre conteúdo e fenômenos observados no cotidiano. Os estudantes diante desta abordagem estavam motivados e predispostos a realizar as atividades com simulação e experimentação, demonstrando interesse sobre o tema abordado. Os resultados apontaram que as atividades experimentais vinculadas às simulações podem ser uma ferramenta para auxiliar na aprendizagem de conceitos de transferência de energia térmica.

Na área de circuitos elétricos, Santos e Dickman (2019) apresentaram os resultados de uma pesquisa realizada com 4 turmas de 3º ano de Ensino Médio de uma escola estadual de São Paulo. Os 4 grupos foram submetidos à estratégias distintas, envolvendo aulas teóricas, abordagens experimentais e abordagens com experimentos virtuais. As atividades foram realizadas através de roteiros de estudos, acompanhadas ou não de aulas expositivas para o ensino de circuitos elétricos e lei de Ohm. Os autores investigaram qual das abordagens seria mais efetiva para a assimilação do conteúdo, motivação e interesse dos estudantes, bem como para a contextualização do conteúdo. A avaliação da aprendizagem ocorreu através da aplicação e análise de pré e pós-testes. Os resultados mostram que abordagens reais e virtuais foram proveitosas para os estudantes, tanto na assimilação do conteúdo, quanto no interesse e participação. Através de análise dos resultados, os autores verificaram a possibilidade de uma quinta abordagem, que poderia ser mais eficiente, através da mistura de elementos de simulações computacionais e atividades experimentais reais. Como

exemplo, os autores propuseram iniciar utilizando uma simulação do PhET para discutir conceitos de corrente elétrica, resistência elétrica e lei de Ohm, pois a simulação propicia a manipulação de experimentos simples, assim como a visualização clara das ligações. Fazendo esta atividade, os estudantes estariam mais preparados para uma atividade experimental real, para fazer o manuseio de dispositivos e equipamentos, assim como a coleta e análise de dados.

Os trabalhos de Lopes et al. (2009), Schuhmacher et al. (2005) e Neves et al. (2013) também apresentaram e defenderam propostas de atividades combinadas de simulação e experimentos no ensino de eletricidade.

A discussão dos diversos trabalhos apresentou resultados promissores para o uso combinado de simulações e atividades experimentais para a promoção de um melhor aprendizado quando comparado à abordagem tradicional, ou a utilização de abordagens isoladas. Além disso, os diferentes trabalhos apontaram que os estudantes se sentiram motivados, participativos e consideraram as abordagens eficientes para o aprendizado.

Para alguns autores essa melhora ocorre devido ao fato de que as simulações reduzem a carga cognitiva de uma atividade experimental.

5 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Tendo em vista que a simulação computacional pode ser um “potencializador” da atividade experimental, pois possibilita o estabelecimento de relações entre a teoria e a atividade experimental, foi proposto neste trabalho uma investigação dos aspectos positivos e negativos dessa associação a partir da elaboração de uma sequência didática sobre a aplicação das leis de Newton na presença de forças de atrito, aplicada no 1º ano do Ensino Médio.

Na sequência de aulas foram utilizadas duas simulações desenvolvidas pelo PhET, denominadas: *Força e movimento* e *Rampa: Forças e Movimento*. Nestes softwares os estudantes puderam simular o comportamento de alguns objetos empurrados sobre um plano horizontal e em um plano inclinado. Durante a execução destes programas, o estudante teve acesso a diversas informações sobre grandezas físicas na análise do movimento.

Na sequência proposta, os simuladores foram utilizados com os seguintes objetivos:

- Prever, qualitativamente, como a presença de forças externas afetaram as grandezas físicas de interesse (velocidade, aceleração, entre outras).
- Confrontar suas previsões com os resultados da aplicação de modelos cientificamente aceitos.
- Diferenciar os atritos estático e cinético.
- Analisar a dependência da força de atrito com a velocidade que um bloco se movimenta (no caso do atrito cinético).
- Utilizar diferentes representações (gráficos, entre outras) na descrição do movimento.

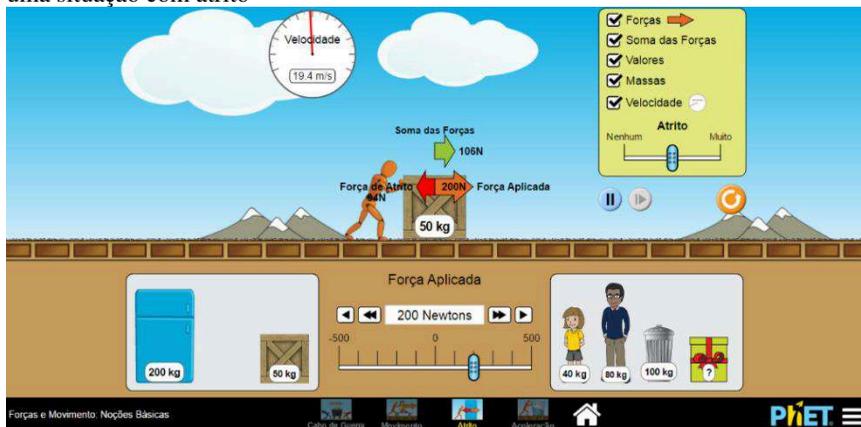
Na simulação *Força e Movimento: Noções Básicas*, os estudantes puderam discutir o movimento de objetos em situações sem atrito (Figura 3) e com atrito (Figura 4). Deste modo, as previsões realizadas puderam ser inicialmente testadas, e os estudantes puderam observar o comportamento de diversas grandezas físicas, como velocidade e aceleração, segundo alguns modelos, além da promoção de uma primeira diferenciação entre os atritos estático e cinético, além de sua dependência com a massa e a superfície de contato.

Figura 3 - Simulação *Força e Movimento: Noções Básicas* usado para estudar uma situação sem atrito



Fonte: O autor.

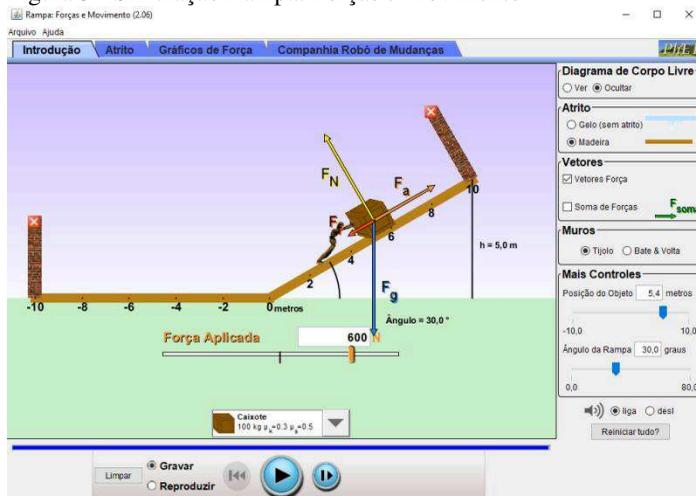
Figura 4 - Simulação *Força e Movimento: Noções Básicas* usada para estudar uma situação com atrito



Fonte: O autor.

Na simulação *Rampa: Forças e Movimento* (Figura 5), o estudante pôde estudar o movimento de queda de um corpo, empurrando o objeto até uma certa altura e soltando. O simulador mostrou a posição do objeto, sua velocidade, o valor de algumas forças durante o movimento, além de gráficos que mostram o comportamento destas grandezas ao longo do tempo durante o movimento.

Figura 5 - Simulação Rampa: Forças e Movimento



Fonte: O autor.

Após o término de cada atividade com as simulações, os estudantes realizaram as atividades experimentais, cujos objetivos foram:

- Confrontar suas previsões e os resultados obtidos durante o uso da simulação com os resultados das atividades experimentais.
- Relacionar a teoria com a prática.

A realização da parte experimental abriu a possibilidade de trabalhar o papel do atrito nos movimentos, e com isso discutir também, concepções espontâneas relacionadas ao atrito, tais como:

- Ele é propriedade do objeto e não resultado de uma interação.
- A dependência com a área.

Os experimentos foram compostos por blocos de madeira, envoltos em diferentes materiais (lixa, papel, entre outros), dinamômetros e planos horizontais e inclinados, de modo a reproduzir as situações discutidas nas simulações. Além disso, para a discussão de situações com atrito desprezível, também foram realizadas atividades em um trilho de ar. Nas diversas atividades os estudantes, em grupos, determinaram parâmetros (como coeficientes de atrito) e grandezas físicas (velocidade, aceleração, entre outras). Para a determinação de grandezas como a aceleração, os estudantes utilizaram uma filmagem do experimento e análise do vídeo em câmera lenta para a retirada de dados referentes à posição e instante. Deste modo, os estudantes precisaram ter

instalado em seus *smartphones*, o aplicativo gratuito Kinemaster para fazer a reprodução do vídeo em câmera lenta. Foi escolhido este aplicativo, pois ele permite a reprodução do vídeo com uma velocidade de $\frac{1}{4}$ da velocidade original, e os instantes são fornecidos com uma precisão de décimos de segundos. Para a realização das atividades, os estudantes foram instruídos através de roteiros e do auxílio do professor. A filmagem dos experimentos serviu de base para uma análise tanto qualitativa, como para uma análise quantitativa dos fenômenos físicos estudados.

A tabela 2 a seguir mostra de forma sucinta o conteúdo abordado, assim como os objetivos de cada aula e as atividades realizadas com a turma 2. Na turma 1, apenas as atividades com simulações não foram realizadas. Todas as aulas com a turma 2 foram aulas faixa, totalizando 90 minutos seguidos (período vespertino). Na turma 1, os estudantes tinham duas aulas individuais de 45 minutos cada por semana (período matutino).

Tabela 2 – Temas discutidos, objetivos e atividades realizadas em cada aula

Aula	Objetivos	Atividades realizadas
Aula 1 - Força de atrito	<ul style="list-style-type: none"> Investigar quais fatores influenciam a força de atrito Diferenciar atrito estático e cinético 	<ul style="list-style-type: none"> Busca das concepções espontâneas Atividade investigativa com uso da simulação do PhET <i>Forças e Movimento</i>
Aula 2 – Força de atrito - Experimentos de força de atrito	<ul style="list-style-type: none"> Investigar o papel da superfície na intensidade da força de atrito Aprofundar os conhecimentos sobre força de atrito Debater a importância da força de atrito 	<ul style="list-style-type: none"> Atividade experimental com blocos de madeira e dinamômetro Análise e discussão de vídeos que abordam a importância da força de atrito
Aula	<ul style="list-style-type: none"> Aplicar as 	<ul style="list-style-type: none"> Lista de exercícios

3 – Força de atrito – Equações da força de atrito	equações da força de atrito para situações diversas	teóricos que envolvem cálculos de força de atrito e coeficiente de atrito
Aula 4 - 1ª lei de Newton	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar os efeitos de diferentes forças sobre um objeto • Compreender a primeira lei de Newton 	<ul style="list-style-type: none"> • Busca das concepções espontâneas • Atividade investigativa com uso da simulação do PhET <i>Forças e Movimento</i> • Experimentos da toalha puxada e do CD com balão • Atividades teóricas sobre primeira lei de Newton
Aula 5 – 2ª lei de Newton	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar a relação entre as grandezas força resultante, massa e aceleração • Concluir que o produto da massa pela aceleração de um corpo é igual ao valor da força resultante 	<ul style="list-style-type: none"> • Introdução sobre as relações entre força resultante, massa e aceleração utilizando a simulação PhET <i>Forças e Movimento</i> • Aprofundamento das relações com uso da simulação
Aula 6 - Atividades sobre 2ª lei de Newton	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar a equação da segunda lei de Newton a diversas situações 	<ul style="list-style-type: none"> • Questionário com atividades que envolvem a relação $F=m.a$
Aula	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir a 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade

<p>7 – Atividade experimental sobre 2ª lei de Newton</p>	<p>relação entre a força de atrito e a área de contato</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar a segunda lei de Newton para um sistema de corpos num plano com atrito • Determinar o coeficiente de atrito estático e cinético entre o bloco e plano 	<p>experimental com plano horizontal com atrito, conjunto de blocos e dinamômetro</p>
<p>Aula 8 – Atividade experimental sobre 2ª lei de Newton</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar a segunda lei de Newton para um sistema de corpos num plano sem atrito • Observar e discutir a relação de proporcionalidade entre a força aplicada e a aceleração • Observar e discutir a relação inversamente proporcional entre a massa do corpo e a aceleração. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade experimental com plano horizontal sem atrito e conjunto de blocos
<p>Aula 9 - Aplicando os conceitos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Compreender a relação entre o ângulo de inclinação e a 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade com simulação do PhET <i>Rampa: Forças e Movimento</i>

num plano inclinado	<p>força necessária para empurrar um corpo para cima de um plano inclinado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Discutir as forças que agem em um corpo num plano inclinado 	
Aula 10 – Experimento sobre plano inclinado	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar o coeficiente de atrito estático e dinâmico entre um objeto e o plano • Aplicar na prática os conceitos discutidos na simulação 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimento com plano inclinado com e sem atrito

Fonte: O autor.

Como a aplicação se deu em duas turmas, sendo que uma realizou atividades com simulação (turma 2) e a outra não (turma 1), é necessário uma comparação entre as atividades realizadas por cada turma. A tabela 3 a seguir faz esta comparação.

Tabela 3 - Comparação entre as atividades realizadas por cada turma e datas de aplicação

Aula – Conteúdo/Conceito	Turma 1 (Sem simulação) - Atividades realizadas	Data de aplicação Turma 1	Turma 2 (Com simulação em algumas aulas) - Atividades realizadas	Data de aplicação Turma 2
Aula	Discu	10/08	Inv	03/08

1 - Força de atrito	ssão sem simulação sobre força de atrito		estigando qualitativa mente força de atrito utilizando a simulação	e 10/08
Aula 2 – Força de atrito - Experimentos de força de atrito	Atividade experimental para determinar a força de atrito estática; atividades teóricas sobre força de atrito	14/08 e 17/08	Atividade experimental para determinar a força de atrito estática; atividades teóricas sobre força de atrito	17/08
Avaliação 1	Data de aplicação: 21/08		Data de aplicação: 24/08	
Aula 3 – Força de atrito – Equações da força de atrito	Atividades envolvendo as equações da força de atrito estático e dinâmico	31/08 , 14/09 e 18/09	Atividades envolvendo as equações da força de atrito estático e dinâmico	31/08 e 14/09
Aula 4 - 1ª lei de Newton	Discussão sem simulação; experimentos da toalha puxada e do CD que “flutua”	21/09 , 25/09 e 28/09	Investigação sobre o movimento de um corpo utilizando a	28/09 e 05/10

	enquanto se move; questionário sobre a 1ª lei de Newton		simulação; experimentos da toalha puxada e do CD que “flutua” enquanto se move; questionário sobre a 1ª lei de Newton	
Aula 5 – 2ª lei de Newton	Discussão sem simulação; atividades sobre segunda lei de Newton	02/10 e 05/10	Investigação da relação entre força, massa e aceleração utilizando a simulação	05/10, 10/10 e 19/10
Aula 6: Atividades sobre 2ª lei de Newton	Turma fez a atividade na aula 5		Atividades sobre segunda lei de Newton	26/10
Aula 7 – Atividade experimental num plano horizontal com atrito	Atividade experimental para discutir a relação entre força, massa e aceleração em um plano	16/10, 19/10, 23/10 e 26/10	Atividade experimental para discutir a relação entre força, massa e aceleração em um	30/11 (Obs.: a atividade sem atrito foi realizada primeiro)

	horizontal com atrito		plano horizontal com atrito	
Aula 8 – Atividade experimental num plano horizontal sem atrito	Atividade experimental para discutir a relação entre força, massa e aceleração em um plano horizontal sem atrito	09/11, 13/11, 20/11 e 27/11	Atividade experimental para discutir a relação entre força, massa e aceleração em um plano horizontal sem atrito	09/11, 22/11 e 23/11
Aula 9 - Aplicando os conceitos num plano inclinado	Discussão sem simulação sobre forças que agem em um objeto em um plano inclinado; atividades sobre plano inclinado	30/11 e 04/12	Discussão com uso da simulação das forças que agem um corpo em um plano inclinado; atividades sobre plano inclinado	04/12
Aula 10 – Experimento sobre plano inclinado	Experimento para determinar o coeficiente de atrito estático	07/12	Experimento para determinar o coeficiente de atrito estático	07/12

	entre um bloco e a superfície de um plano inclinado		entre um bloco e a superfície de um plano inclinado	
Avaliação 2	Data de aplicação: 11/12		Data de aplicação: 07/12	

Fonte: O autor

6 CONTEXTO E METODOLOGIA

6.1 Contexto

O estudo foi realizado em uma escola pública estadual de Santa Catarina, localizada no município de Águas Mornas.

A escola possui no total duas turmas de cada ano, desde o 6º ano do Ensino Fundamental, até o 3º ano do Ensino Médio, sendo uma turma de cada ano no período matutino, e uma turma de cada ano no período vespertino. Atualmente a escola possui aproximadamente 340 estudantes regularmente matriculados.

A escola possui todas as salas climatizadas, disponibilidade grande de projetores multimídia, acesso a internet para uso dos professores, sala de informática com computadores que não recebem manutenção há cerca de três anos. Devido a isso, aproximadamente 5 computadores funcionam sem acesso à internet. A escola não possui laboratório didático nem um espaço que possa ser utilizado para atividades experimentais. Entretanto, as atividades experimentais propostas podem ser realizadas na sala de aula.

As turmas participantes da pesquisa não realizavam atividades experimentais ou com simulações antes da aplicação da sequência de aulas. As aulas eram expositivas-dialogadas, com realização de exemplos de atividades e resolução de exercícios para cada conteúdo trabalhado.

A elaboração da sequência de aulas foi iniciada no segundo semestre de 2017 e sua aplicação se deu no segundo semestre de 2018, com duração de 4 meses. As turmas participantes da pesquisa têm no total, duas aulas semanais de Física, com duração de 45 minutos cada.

6.2 Os sujeitos participantes da pesquisa

Para participar da pesquisa as duas turmas do primeiro ano do Ensino Médio foram convidadas. As duas turmas foram chamadas por nós de turma 1 e turma 2. A turma 1, era composta no início por 21 estudantes, mas logo no início da aplicação, 1 estudante mudou de escola. Desta forma, a análise nesta turma passou a ser feita com 20 estudantes. A turma 2, era composta no início por 20 estudantes, porém 2 estudantes mudaram de escola. Desta forma a aplicação foi realizada com 18 estudantes. As idades dos estudantes variaram de 15 a 18 anos.

O convite realizado pelo professor/pesquisador se deu através do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), em duas versões. A primeira para o próprio estudante (Apêndice A) e a segunda para os pais dos estudantes menores de idade (Apêndice B). Destacou-se nas duas versões do TCLE que os estudantes poderiam se recusar a participar da pesquisa, porém eles não estariam isentos de participar das atividades da aula, pois as atividades desenvolvidas fazem parte das aulas regulares da disciplina.

6.3 Metodologia

A abordagem didática utilizada na turma 1, envolveu aulas expositivas-dialogadas, combinado à atividades experimentais, no qual os estudantes foram instruídos através de um roteiro e auxílio do professor. A turma 2, além de aulas expositivas-dialogadas, realizou atividades com simulações, instruídos por roteiros e auxílio do professor, seguidas das mesmas atividades experimentais realizadas pela turma 1.

Durante a aplicação os dados foram coletados através de gravações em áudio, registros escritos do professor/pesquisador e registros dos estudantes (relatórios e avaliações).

O material coletado foi analisado através de métodos qualitativos. A utilização destes métodos se justifica pois permite esmiuçar “a forma como as pessoas costumam esmiuçar o mundo a sua volta, o que estão fazendo ou o que está lhes acontecendo (...)” (FLICK, 2009, p. 8).

Para Denzin e Lincoln (2005) a pesquisa qualitativa:

(...) é uma atividade situada que posiciona o observador no mundo. Ela consiste em um conjunto de práticas interpretativas e materiais que tornam o mundo visível. Essas práticas transformam o mundo, fazendo dele uma série de representações, incluindo notas de campo, entrevistas, conversas, fotografias, gravações e anotações pessoais. Nesse nível a pesquisa qualitativa envolve uma postura interpretativa e naturalística diante do mundo. Isso significa que os pesquisadores desse campo estudam as coisas em seus contextos naturais, tentando entender e interpretar os fenômenos em termos dos sentidos que as pessoas lhes atribuem.

(DENZIN e LINCOLN, 2005, p. 3).

Esse tipo de análise permitiu ao pesquisador: ter acesso a experiências, interações e documentos em seu contexto natural; desenvolver as hipóteses e conceitos, além de seus refinamentos no processo da pesquisa. É importante ainda ressaltar que o pesquisador faz parte do processo.

Através dos relatos semanais, das gravações em áudio e das análises das atividades realizadas em cada aula foram feitas interpretações e considerações sobre a eficácia das atividades propostas.

Para cada atividade realizada, as respostas foram classificadas entre corretas, parcialmente corretas ou incorretas. O percentual de acertos de cada atividade permitiu inferir se a abordagem utilizada auxiliou no processo de aprendizagem. Os relatos semanais destacaram a participação, empolgação e dedicação dos estudantes, assim como uma descrição geral das atividades que foram realizadas. Sempre que possível, as respostas dos estudantes foram comparadas com os resultados apontados pela literatura.

Durante a análise dos dados e a comunicação dos resultados foi garantido o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, conforme a legislação brasileira (Resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa com Seres Humanos da UFSC (CEPSH), CAAE número 71698117.6.0000.0121.

7 RELATO DAS AULAS, PRINCIPAIS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Convém ressaltar que a turma 1 não realizou atividades com simulações, enquanto que a turma 2, realizou atividades investigativas com simulações antes das atividades experimentais.

7.1 Força de atrito

A discussão sobre força de atrito foi feita de maneira semelhante no início em ambas as turmas, de forma a discutir as concepções espontâneas sobre o movimento de um corpo lançado sobre uma superfície horizontal. Em ambas as turmas, alguns estudantes afirmaram que um corpo diminui sua velocidade por causa da força de atrito, mas a maioria afirmou que é porque o corpo perde força. Como mostra a literatura sobre concepções espontâneas, os estudantes tendem a relacionar força com velocidade de um corpo (ZYLBERSZTAJN, 1983; NOGUEIRA et al., 2007). No caso do atrito, os estudantes afirmaram explicitamente que o corpo diminui sua velocidade por causa do atrito.

Na turma 1, foi discutido em quais situações a força de atrito está presente, já levando em consideração força de atrito estática e dinâmica. Na turma 2, após as concepções iniciais, os estudantes fizeram uma investigação sobre força de atrito utilizando a simulação. Os estudantes em duplas ou trios realizaram a tarefa seguindo um roteiro (Apêndice C) realizando as manipulações solicitadas e respondendo perguntas. Na atividade com simulação os estudantes seguiram um roteiro pré-estabelecido pelo professor. Como sugerido por Santos e Dickman (2019), iniciamos as abordagens com simulação para discutir os conceitos envolvidos no conteúdo abordado.

Questão 1: Inicie a atividade com as configurações iniciais do simulador. Clique nas caixas **Forças, Soma das forças, Valores, Massas e Velocidade**. Aplique uma determinada força no caixote e verifique que aparecem duas forças na horizontal: a força aplicada e a força de atrito. Analise o que ocorre com o valor da força de atrito quando modificamos o valor da força aplicada.

- a) A medida que você aumenta a força aplicada, o que acontece com a força de atrito?
- b) Isso acontece sempre? Faça o teste iniciando com forças pequenas e vá aumentando.

- c) Ao aumentar o valor da força aplicada, a força de atrito também aumentou. O valor máximo da força de atrito foi de
- d) Quando o caixote começou a se movimentar, o que aconteceu com o valor da força de atrito? Qual foi seu novo valor?
- e) Com o caixote em movimento, aumente e diminua o valor da força aplicada. O que aconteceu com o valor da força de atrito neste procedimento?
- f) Mude o valor da força aplicada até que o valor da força resultante seja zero. O que acontece com o valor da velocidade quando o valor da força resultante é igual a zero?

O estudante pôde observar que quando um objeto em repouso é empurrado horizontalmente, ele fica sujeito a uma força no sentido oposto denominada força de atrito. A força de atrito aumenta conforme a força aplicada aumenta até um valor máximo, denominada força de atrito estática máxima. Os estudantes puderam observar que a força de atrito diminui quando o objeto entra em movimento e permanece constante enquanto houver movimento, independente da força aplicada. Pode-se observar através da simulação que a velocidade do objeto aumenta quando a força aplicada é maior que a força de atrito, e diminui quando a força aplicada é menor que a força de atrito.

Questão 2: O que você deve fazer para que o caixote inicie o movimento? Justifique sua resposta e faça o teste com a simulação.

Nesta questão os estudantes deveriam responder que a força aplicada deve ser maior que a força de atrito estática máxima, pois para uma situação contrária, a força resultante é nula e o objeto em repouso permanece em repouso.

Responderam corretamente 72% (13) dos estudantes, como o estudante 11, que escreveu: “Fazer com que a força aplicada alcance 126 N ou mais”. Outros 28% (5) afirmaram que a força aplicada deve ser aumentada, mas não afirmaram quanto.

Questão 3: O que você deve fazer para aumentar a velocidade do caixote? E para diminuir? Justifique as suas respostas e faça o teste com a simulação.

Os estudantes deveriam responder que para aumentar a velocidade, a força aplicada deveria ser maior que a força de atrito dinâmica e no mesmo sentido do movimento, e para diminuir a velocidade do caixote, a força aplicada deveria ser menor que a força aplicada, ou ainda, aplicar força no sentido oposto ao movimento.

Apenas 5,5% (1) deu a resposta completa, escrevendo: “Para aumentar, a força aplicada deve ser maior que a força de atrito e no sentido do movimento. Para diminuir, a força aplicada deve ser menor que a força de atrito”, 50% (9) afirmaram que devemos aplicar mais força, ou menos força, 11% (2) deram respostas que corroboram com as ideias de concepções espontâneas citadas anteriormente (ZYLBERSZTAJN, 1983; NOGUEIRA et al., 2007), afirmando: “Aumentar ou diminuir a força. Quanto mais força aplicada, mais velocidade. Quanto menos força aplicada, menos velocidade”, 16,6% deram respostas incorretas, como a apresentada pelo estudante 3, que escreveu: “Força aplicada no sentido do movimento” e 3 estudantes (17%) não responderam a questão.

Pode-se discutir ainda com a simulação como o tipo de superfície influencia no valor do atrito. Ao modificar o valor da barra denominada atrito na simulação, foi discutido que estamos deixando a superfície mais áspera ou mais lisa.

Questão 4: Clique no botão que reinicia a simulação. Clique novamente nas caixas **Forças**, **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e **Velocidade**. Mude a barra denominada **Atrito**, diminuindo seu valor, como mostra a figura seguir.

Figura 6 - Seletor que permite a mudança do valor do atrito na simulação Força e Movimento



Fonte: O autor.

Aplique uma força de 50 N e vá aumentando de 1 N em 1 N. Qual é o valor máximo da força de atrito nesta situação? Qual fator influenciou nesta mudança?.

Questão 5: Clique no botão que reinicia a simulação. Clique novamente nas caixas **Forças**, **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e **Velocidade**. Mude a barra denominada **Atrito**, aumentando seu valor, como mostra a figura seguir.

Figura 7 - Seletor que permite a mudança do atrito na simulação *Força e Movimento*



Fonte: O autor.

Aplique uma força de 150 N e vá aumentando de 1 N em 1N. Qual é o valor máximo da força de atrito nesta situação? Qual fator influenciou nesta mudança?

O objetivo das questões era promover reflexões sobre a dependência da força de atrito com as superfícies de contato. Para tanto, os estudantes deveriam aumentar e diminuir o valor do coeficiente de atrito através da barra denominada atrito e responder qual fator influenciou na mudança do valor da força de atrito estática máxima. Todos os estudantes afirmaram que o valor da força de atrito depende da superfície de apoio.

Questão 6: Clique no botão que reinicia a simulação. Clique novamente nas caixas **Forças**, **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e **Velocidade**. Adicione outro caixote em cima do que já está no plano. O que deve ocorrer com a força de atrito máxima? Como você explica isso? Faça o teste e verifique sua hipótese, comentando o resultado.

Questão 7: Reinicie novamente a simulação. Adicione duas caixas sobre a que já está no plano. E agora o que deverá ocorrer com a força de atrito máxima? Como você explica este fato? Faça o teste e verifique sua hipótese, comentando o resultado.

Neste caso, o objetivo é a reflexão sobre a dependência da força de atrito com a força normal. Como mostrado na literatura (SANTOS e SANTOS, 2018), os estudantes têm a concepção de que a força de atrito depende da massa ou do peso. Para fazer esta reflexão, os estudantes deveriam colocar sobre o caixote outros dois objetos e observar que a força de atrito estática máxima aumentava. O objetivo da questão é discutir a dependência da força de atrito com a força normal, porém esperávamos que os estudantes respondessem que a força de atrito aumentou por causa do aumento da força peso ou da força normal. Nesta perspectiva, 44,4% (8), responderam que a força aplicada aumenta porque tem mais peso, 50% (9) escreveram apenas que a força de atrito aumenta e 5,6% (1) não respondeu a questão.

Questão 8: Se em vez de colocar os caixotes em cima do que já estava no plano, for aplicada uma força sobre o caixote de cima para

baixo, o que ocorreria com a força de atrito máxima quando o caixote fosse empurrado na horizontal? Como você explica isso?

Temos como objetivo novamente a reflexão de que a força de atrito não depende do peso ou da massa, mas sim da força normal. Ao responder a questão, 66,7% afirmaram que a força de atrito aumenta, mas não justificaram a resposta, 16,7% (3) escreveram que a força de atrito irá aumentar e o caixote irá permanecer parado, 5,5 % (1) escreveu: “*Dá na mesma coisa*”, e 11,1% (2) não responderam a questão.

Podemos observar que os estudantes observaram um aumento no valor da força de atrito, mas pelas justificativas, podemos entender que os estudantes não associaram a força de atrito com a força normal. Os estudantes da turma 1 participaram de uma discussão semelhante somente quando fizeram a atividade experimental (será descrita na sequência).

Questão 9: Da mesma forma, explique o que ocorreria com a força de atrito máxima, se fosse aplicada uma força de baixo para cima, tentando levantar o caixote no momento que ele estava sendo empurrado para o lado.

Os objetivos eram os mesmos da questão anterior. Neste caso, 61,1% (11) afirmaram apenas que a força irá diminuir, mas sem justificar, 5,5% (1) afirmou que a força de atrito irá diminuir ou permanecer igual, 16,7% (3) afirmaram que a força de atrito vai permanecer igual e 16,7% (3) não responderam a questão.

As questões 8 e 9 complementam as questões 6 e 7, pois possibilitam discutir a dependência da força de atrito com a força normal, porém esta discussão não foi feita durante a realização desta atividade. Entretanto, os estudantes foram coerentes ao relatar mudanças no valor da força de atrito.

Questão 10: Quais os fatores que influenciam na força de atrito quando há movimento ou tendência de movimento?

O objetivo da questão é a reflexão dos fatores observados anteriormente que influenciam na força de atrito. Os estudantes deveriam responder que a força de atrito depende do tipo de superfície e da força normal.

As respostas para esta pergunta foram baseadas no que os estudantes puderam observar na simulação, sendo que 38,8% (7) afirmaram que a força de atrito depende da superfície e da força aplicada no caixote, 27,7 % (5) afirmaram que a força de atrito depende da superfície e da massa, 11,1% (2) afirmaram que a força de atrito depende apenas da superfície, 5,5% (1) afirmou que depende da massa,

5,5% (1) afirmou que depende da força aplicada, 5,5% (1) afirmou que depende da superfície, da força aplicada e do peso do objeto e 5,5% (1) não respondeu a questão.

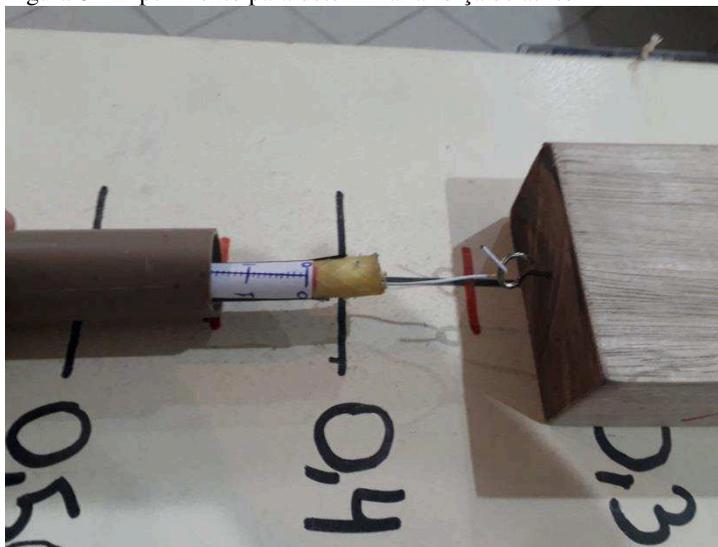
As observações que os estudantes puderam fazer na manipulação da simulação foram: quando o caixote está em repouso e a força aplicada aumenta, a força de atrito aumenta, então ela depende da força aplicada; quando muda a superfície, a força de atrito varia, então depende da superfície; e quando acrescentamos massa sobre o caixote, a força de atrito máxima varia, então depende da massa ou do peso. Não poderíamos esperar outras respostas senão estas que foram dadas.

Faltou neste momento da aula uma discussão a respeito da variação da força normal quando aplicamos força no caixote, ou quando acrescentamos massa. Como destacam Leal et al. (2015), apenas a manipulação da simulação pode levar ao estudante à conclusões incorretas sobre o fenômeno físico estudado. Torna-se necessário a intermediação do professor para se chegar a conclusões como a que esperávamos, que a força de atrito independe da massa e do peso, mas sim da força normal.

Na sequência da aula, os estudantes da turma 2 realizaram uma atividade experimental, no qual tínhamos como objetivo, discutir de quais fatores a força de atrito depende. Em equipes, os estudantes seguiram um roteiro (Apêndice D) realizando atividades e respondendo perguntas.

A questão 1 “Como faremos para determinar o valor máximo da força de atrito estático utilizando o dinamômetro?”, norteou a discussão para a determinação da força de atrito estática com o uso do dinamômetro, e a questão 2 “Cada equipe colocará o bloquinho preso por um gancho no dinamômetro e puxá-lo. O valor máximo da força de atrito estático corresponde ao valor máximo mostrado no dinamômetro. Cada equipe deverá determinar o valor desta força. Para isso, faça o experimento.” solicitou a medida da força de atrito estática máxima para a comparação com a medida feita fazendo alterações na força normal. A Figura 8 ilustra o experimento realizado.

Figura 8 - Experimento para determinar a força de atrito



Fonte: O autor.

O objetivo das questões visou a discussão de que os valores diferentes podem ter sido causados pelas diferentes superfícies dos bloquinhos em contato com a superfície de apoio.

Antes de realizar a tarefa seguinte, os estudantes deveriam responder a questão 3 “O que deverá acontecer com o valor da força de atrito máxima quando for colocado um objeto sobre o bloquinho quando este for puxado horizontalmente? Por que isto acontece?”.

O objetivo da questão é novamente a reflexão sobre a dependência da força de atrito com a força normal e não com a massa ou com o peso. Como na atividade com simulação não foi feita uma discussão, os estudantes não perceberam esta dependência. Neste dia, 16 estudantes estavam presentes, sendo que 68,7% (11) afirmaram que a força de atrito deve aumentar porque tem mais peso, 12,5% (2) afirmaram que é porque tem mais massa, 12,5% (2) afirmaram o contrário, que a força de atrito vai diminuir, porque a massa aumentou e 6,3% (1) afirmou que aumenta porque o bloco tem mais força (sendo aplicada nele).

Fazendo o experimento solicitado na questão 4 “Faça o teste e verifique sua hipótese. Qual o valor da força de atrito estática máxima encontrada? Ele é maior ou menor do que o valor encontrado na questão

2?”, os estudantes observaram que a força de atrito aumentou. Na discussão dos resultados não foi citado aumento da força normal.

Questão 5: Aplique uma força com os dedos de cima para baixo sobre o bloquinho, mas não muito forte. Puxe-o com o dinamômetro e verifique o valor da força de atrito estática máxima encontrada. Qual foi o valor? O valor está de acordo com o previsto no questionário da aula anterior? O valor encontrado é maior, menor ou igual o valor encontrado na questão 2? Justifique sua resposta.

Nas questões 5 e 6, os objetivos visaram promover uma reflexão novamente sobre a dependência da força de atrito com a força normal. Os estudantes deveriam responder nas questões 5 e 6, que houve uma mudança de atrito causada pela mudança na força normal.

Os estudantes observaram que a força de atrito estática máxima também aumentou e, 50% (8) afirmaram que é porque está se aplicando uma força para baixo no bloquinho, 12,5% (2) afirmaram que é porque está sendo aplicado mais força, 12,5% (2) afirmaram que é porque aumentou a massa, 12,5% (2) não justificaram e 12,5% (2) afirmaram que é porque havia mais pressão sobre o bloco. Novamente nenhum estudante justificou que houve um aumento de força normal.

Questão 6: Faça o contrário agora, aplique uma força no bloquinho para cima, mas sem levantá-lo, de modo a diminuir o valor da força normal sobre o bloquinho. Puxe-o também na horizontal com o dinamômetro, e verifique o valor da força de atrito máxima. Qual foi o valor? Ele está de acordo com o previsto no questionário da aula anterior? O valor foi maior, menor ou igual o valor encontrado na questão 2? Justifique sua resposta.

Quando o bloco foi puxado para cima (mas sem tirá-lo da mesa), os estudantes observaram que a força de atrito estática máxima diminuiu. Ao justificarem o porquê, 25% (4) afirmaram que estava sendo aplicado uma força para cima, 31,2% (5) não justificaram, 18,8% (3) afirmaram que a força aplicada para cima, deixava o bloco mais leve, por isso a força de atrito diminui, 6,2% (1) associou a redução do atrito com a redução de pressão sobre o bloco, 18,8% (3) não responderam a questão. Nenhum estudante comentou que diminui a força normal.

Após o término desta atividade experimental, foi discutido pelo professor que a força de atrito depende da força normal. Quando acrescentamos um objeto em cima do que está sendo empurrado, ou aplicamos uma força sobre o bloco, estamos aumentando a força normal, e isto causa uma força de atrito maior. Destacamos que, aparentemente, os estudantes perceberam que a maneira como as diversas forças são aplicadas sobre o corpo podem influenciar no atrito. Para que os

estudantes consigam entender estas relações, as discussões com o professor são fundamentais (LEAL et al., 2015).

Na turma que não realizou atividade com simulação (turma 1), foi feito a atividade experimental logo após as discussões iniciais. Quando foi acrescentado um objeto em cima do bloco puxado, os estudantes observaram que aumentou a força de atrito estática máxima. Ao serem questionados porque, somente 5% (1) disse que é porque aumentou a força normal, 20% (4) afirmaram que a força de atrito aumentou, mas não justificaram o motivo, 25% (5) afirmaram que a força de atrito aumentou devido ao aumento de massa, 30% (6) justificaram o aumento de força de atrito devido ao aumento do peso e 20% (4) afirmaram que a força de atrito deveria permanecer a mesma pois o atrito seria igual.

Neste momento foi feito uma discussão sobre a variação da força normal quando acrescentamos um objeto sobre outro ou quando aplicamos forças no objeto. Na sequência, os estudantes deveriam aplicar uma força no bloquinho empurrando-o para baixo e para cima (separadamente) enquanto ele estava sendo puxado. Os estudantes observaram que a força de atrito aumentou quando o bloco foi empurrado para baixo e diminuiu quando foi puxado para cima. Neste caso, os estudantes escreveram no questionário que a variação foi justificada pela variação da força normal.

Nesta turma, o professor fez uma discussão sobre a dependência da força de atrito com a força normal antes dos estudantes realizarem a atividade aplicando forças no bloquinho para cima ou para baixo. Desta forma, os estudantes responderam corretamente que a força de atrito depende da força normal. Já na turma 2, esta discussão foi feita após a realização da atividade.

Em relação aos conceitos discutidos, a turma 2 escreveu respostas semelhantes à turma 1 no início da atividade, onde foi observado que a força de atrito aumentou com o aumento de massa. Na sequência, com a discussão de variação da força normal na turma 1, houve uma diferença nas respostas dadas pelos estudantes desta turma. Como era de se esperar, uma vez que não foi realizado nenhuma discussão na turma 2, nenhum estudante chegou a conclusão que a força de atrito depende da força normal.

7.1.1 Importância da força de atrito

Quando os estudantes terminaram a atividade com experimentos sobre força de atrito, foi proposta uma atividade com perguntas e respostas para discutir a importância da força de atrito em nossas vidas.

As opiniões sobre o papel do atrito no cotidiano informadas pelos estudantes foram: manter as coisas no lugar, evitar um deslizamento, facilitar o movimento de um carro, não escorregar, andar sem cair, facilitar o deslocamento, funcionamento de máquinas, segurar um objeto, dar equilíbrio, outras respostas semelhantes. Na sequência foram assistidos 4 vídeos³, que mostram a importância da força de atrito. Após assistir os vídeos, foi discutido a importância da força de atrito, relacionando com as perguntas anteriores.

Ao final da discussão sobre a importância da força de atrito, foi perguntado novamente o que acontece com a força de atrito estática máxima quando acrescentamos um objeto em cima do que está sendo empurrado. A tabela 4 faz uma comparação entre o percentual de estudantes que relacionaram a força de atrito com a força normal antes e após o experimento. A tabela compara apenas os estudantes que responderam a questão.

Tabela 4 – Comparação das respostas sobre relação entre força de atrito e força normal antes e após os experimentos

Sobre a relação entre força de atrito e força normal	Antes do experimento		Após o experimento	
	Turma 1	Turma 2	Turma 1	Turma 2
	5% correto	0% correto	60% correto	44% correto
	95% incorreto	100% incorreto	40% incorreto	56% incorreto

Fonte: O autor.

Observa-se que nas duas turmas houve uma ressignificação dos conceitos, sendo que na turma 1, apenas 5% havia relacionado a força de atrito com a força normal antes do experimentos e nenhum estudante da

³ Vídeo 1. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=nhNjYcsL-t4>>. Acesso em 17/08/2018.

Vídeo 2. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=CfJk38PMcqs>>. Acesso em 17/08/2018.

Vídeo 3. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=bCij8BiMyoM>>. Acesso em 17/08/2018

Vídeo 4. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=QB6Ag8B3qyE>> <<https://www.youtube.com/watch?v=QB6Ag8B3qyE>> Acesso em 17/08/2018

turma 2 havia feito esta relação. Após o experimento, 60% da turma 1 e 44% da turma 2 relacionaram corretamente a intensidade da força de atrito com a força normal. Os dados seguintes levam em consideração também o percentual de estudantes que não responderam as questões.

Na turma 2, no qual nenhum estudante havia feito a afirmação que a força de atrito depende da força normal, desta vez, após a intervenção do professor, 22,2% (4) responderam corretamente, como o estudante 1 que escreveu: “*Deverá ser maior, porque vai aumentar a força normal*”. O estudante 4, manteve sua hipótese descrita anteriormente, afirmando “*maior porque tem uma quantidade maior de massa, ou seja, tem mais pressão sobre a caixa*”, 22,2% (4) justificaram que é maior por causa do peso ou da massa que é maior e 50% (9) não fizeram a questão. Como as atividades foram de tarefas para casa, muitos estudantes podem ter esquecido ou não tiveram comprometimento.

A turma 1 pode ter apresentado falta de comprometimento ou esquecimento, pois apenas 25% (5) responderam a questão, sendo que 10% (2) afirmaram que aumenta por causa da força normal, 5% (1) afirmou que aumenta por causa da força normal e do peso, 5% (1) afirmou que aumenta por causa do aumento de massa e 5% (1) por causa do aumento do peso. Mesmo com a discussão feita em sala, um número menor de estudantes relacionou a variação da força de atrito com a força normal.

É importante ressaltar que na turma 2, nenhum estudante havia estabelecido esta relação nas atividades anteriores, e desta vez, 22,2% (4) a fizeram. Enquanto que na turma 1, antes da atividade experimental, apenas um estudante fez esta relação e após a atividade experimental, 95% (19) fizeram esta relação. Porém, nesta atividade a pergunta se repetiu e somente 15% (3) relacionaram a variação da força de atrito com a variação da força normal.

É importante observar que segundo a TCC, muitas informações são perdidas antes mesmo de serem processadas pelos estudantes (efeito da informação transiente).

7.1.2 Atividades com equações da força de atrito

No início, a discussão foi feita de maneira semelhante. Uma imagem projetada no quadro mostra um esquema semelhante à atividade com os bloquinhos feita pelos estudantes. Foi discutido que a força de atrito pode ser estática ou dinâmica. Quando bloco está em repouso e

num plano horizontal, a força de atrito será igual à força aplicada. Esta força de atrito estática possui um valor máximo. Foi mostrado a equação para sua determinação. Para discutir o que é o coeficiente de atrito, lembramos dos experimentos realizados com blocos com superfícies diferentes. O coeficiente de atrito está relacionado às duas superfícies, sendo maior para superfícies mais ásperas e menor para superfícies mais lisas. Foi discutido também a fórmula da força de atrito dinâmica e quando devemos utilizá-la.

Na turma 2, o professor lembrou da atividade com o simulador. Quando o caixote estava em movimento, a força de atrito dinâmica não variava mais, portanto a força de atrito dinâmica possui um valor constante. Na sequência foram realizados três exemplos de uma lista de atividades (Apêndice E) que utilizam as equações da força de atrito (efeito do exemplo trabalhado).

As atividades têm como objetivo que os estudantes façam a aplicação das equações da força de atrito, fazendo uma análise quantitativa das forças envolvidas no problema.

Questão 1. Um bloco com massa de 20 kg encontra-se em repouso sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre a superfície e o bloco valem, respectivamente 0,5 e 0,4. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

a) Aplica-se no bloco uma força de intensidade 90 N, paralela a superfície apoio. O bloco entra em movimento? Qual o valor da força de atrito no bloco?

b) Se a força aplicada for 110 N, o bloco entra em movimento? Qual o valor da força de atrito nesta situação?

A primeira pergunta do professor foi: como podemos verificar se o bloco se move. O estudante 14 da turma 2 comentou que para o bloco se mover, a força aplicada deve ser maior que 200 N (maior que o peso). Este estudante acredita que a força aplicada deve ser maior que o peso do bloco para ele se mover. O professor perguntou se seria necessária a mesma força se o bloco fosse colocado sobre um carrinho. O estudante disse que a força seria menor. Desta forma, o professor comentou que a força aplicada para mover um objeto não depende apenas do peso. Na turma 1, outros dois estudantes fizeram uma afirmação semelhante.

Foi discutido então que a força aplicada deve ser maior que a força de atrito estática. Calculamos a força de atrito máxima, encontrando um valor de 100 N. Ao serem questionados sobre qual o valor da força de atrito, alguns estudantes das duas turmas disseram que era 100 N. Lembramos novamente sobre força resultante e valor da força de atrito quando o corpo ainda está em repouso. Se o valor da

força de atrito for maior que a força aplicada, o bloco se moveria no sentido oposto à força aplicada, o que seria impossível. Foi lembrado novamente que a força de atrito deve ser igual à força aplicada quando o bloco está em repouso. Os estudantes concordaram sem indagações. No item B a força aplicada é de 110 N, desta forma o bloco entra em movimento. Foi determinado então o valor da força de atrito, encontrando um valor de 80 N.

Para complementar a discussão na turma 2, a simulação foi projetada no quadro e observado novamente que a força de atrito estática é igual ao valor da força aplicada quando o caixote está em repouso e possui um valor máximo. A simulação também permitiu observar que a força de atrito é constante quando o caixote já está em movimento. Foi observado que a força de atrito estática máxima era de 125 N, e quando a força aplicada passou a ser 126 N ou mais, a força de atrito diminuía para 94 N pois o objeto entrava em movimento.

A questão 2 foi realizada de forma semelhante nas duas turmas. Questão 2. Dois amigos, Caio e André estão tentando arrastar juntos, uma caixa de 400 kg, inicialmente em repouso sobre uma superfície plana e horizontal. O coeficiente de atrito estático entre a caixa e o solo vale 0,4. Caio puxa para a esquerda com uma força horizontal e constante de intensidade 500 N. Ao mesmo tempo, André empurra a caixa para a esquerda com uma força também horizontal.

Figura 9 - Imagem da questão 2 da atividade sobre força de atrito



Fonte: O labirinto científico⁴

Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, qual deve ser a força mínima que André deve aplicar para a caixa iniciar o deslizamento?

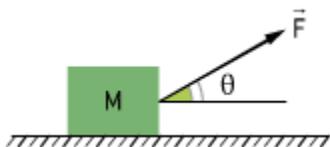
Esta questão solicitava a força mínima para iniciar o movimento de um caixote de 400 kg que estava em repouso inicialmente. A questão foi iniciada desenhando-se no quadro as forças que agiam no caixote para os estudantes analisarem o que era necessário para o caixote se

⁴ Disponível em <<http://olabirintocientifico.blogspot.com/>> Acesso em 20/06/2018.

mover. Foi anotado no quadro os outros dados da questão e determinado o valor da força de atrito. O professor comentou que para a caixa se mover é necessária uma força maior que 1600 N. Como haviam duas pessoas aplicando a força no caixote, sendo uma delas de 500 N, foi concluído que a força aplicada pelo outro garoto deve ser maior que 1100 N. Nenhum estudante disse ter ficado com dúvida após o exemplo.

Na sequência foi discutido a questão 3. Um bloco de massa $M = 10 \text{ kg}$, sob ação de uma força F de módulo 30 N, movimentando-se com velocidade constante sobre uma superfície horizontal rugosa, conforme mostra a figura.

Figura 10 - Imagem da questão 3 da atividade sobre força de atrito



Fonte: Exercícios Brasil Escola⁵

Sabendo-se que $\text{sen}\theta = 0,6$ e $\text{cos}\theta = 0,8$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco e a superfície de apoio.

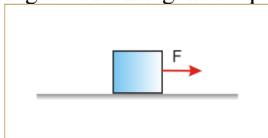
No início, foi discutido as forças que atuam na caixa que está sendo puxada. Como a força que puxa o caixote está inclinada, foi perguntado o que deve ser feito e aparentemente os estudantes esqueceram. Foram determinadas as componentes da força e na sequência o valor da força normal. Aparentemente em ambas as turmas os estudantes não demonstraram dificuldades para entender como foi feito o cálculo da força normal. O professor comentou que se o bloco se move com velocidade constante é porque a força de atrito será igual à força aplicada no sentido oposto ao atrito, então os estudantes comentaram que a força de atrito será 24 N (esta é o valor da componente horizontal da força aplicada). Utilizando a fórmula da força de atrito, foi calculado o coeficiente de atrito dinâmico. Na sequência os estudantes sentados em duplas iniciaram as atividades seguintes.

A questão 4, foi discutida inicialmente na turma 1 e os estudantes deram continuidade (efeito de enfraquecimento de orientação). Na turma 2, os estudantes não mostraram dificuldades, então não foi discutida inicialmente pelo professor.

⁵ Disponível em < <https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/> Acesso em 20/06/2018

Questão 4. O bloco da figura tem massa igual a 8 kg e repousa sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco e a superfície são, respectivamente 0,4 e 0,3. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Figura 11 - Imagem da questão 4 da atividade sobre força de atrito



Fonte: Cola da Web⁶

Aplica-se ao bloco uma força motriz F . Determine a intensidade da força de atrito que atua sobre o bloco, nos seguintes casos:

- a) $F = 0$
- b) $F = 10 \text{ N}$
- c) $F = 50 \text{ N}$
- d) $F = 80 \text{ N}$

Novamente os estudantes (da turma 1) foram questionados sobre as forças que atuam no caixote. Um esquema no quadro mostrou a força F , o peso, a normal e a força de atrito. Novamente foi questionado o que é preciso saber para saber se o caixote entra em movimento. Poucos estudantes responderam que é a força de atrito. Outros aparentemente ainda não sabiam responder esta pergunta. Foi comentado novamente pelo professor que um objeto somente entra em movimento se for aplicado uma força maior que o valor da força de atrito estática máxima. Calculamos o valor desta força, encontrando como resposta 32 N. Ao serem questionados qual o valor da força de atrito para uma força de 0 N, alguns estudantes (como foi através de uma discussão, não temos a quantidade, apenas os relatos semanais) disseram que a força de atrito é zero, e outros disseram que a força de atrito é 32 N. Na concepção de alguns estudantes não está claro que quando o objeto está em repouso, a força de atrito é igual a força aplicada mas no sentido oposto.

Foi perguntado novamente, qual o valor da força de atrito quando a força aplicada é de 10 N. Alguns estudantes conseguiram responder corretamente 10 N. Alguns estudantes disseram não entender ainda o porquê. Foi comentado novamente sobre a força resultante ser igual a zero para o corpo permanecer em repouso. A força resultante somente será zero se o corpo permanecer em repouso se já estiver em repouso.

⁶ Disponível em < <https://www.coladaweb.com/> > Acesso em 20/06/2018

Deste modo, se duas forças agem em sentidos opostos, elas devem ser iguais.

Quando questionados qual o valor da força de atrito quando a força aplicada for 50 N, alguns estudantes disseram ser 50 N, outros disseram ser 32 N. Esta questão trouxe bastante discussão e discórdia. As imagens estáticas desenhadas e discutidas na aula não estavam servindo para explicar a questão. Vendo a necessidade de explicar de outra forma, foi utilizado a simulação Força e Movimento. A partir deste momento, os estudantes ficaram mais interessados e atentos, cessaram as conversas e estavam mais participativos, como já mostraram diversos trabalhos (MORO, NEIDE e VETTORI, 2016; SOUZA e MELLO, 2017; SANTOS e DICKMAN, 2019).

Foi discutido novamente sobre o valor da força de atrito quando o corpo está em repouso e quando está em movimento. No simulador, pode-se observar que a força de atrito é igual a força aplicada quando o objeto está em repouso. Foi observado ainda que a força de atrito possui um valor máximo. Quando a força aplicada for igual à força de atrito máxima, o bloco permanece em repouso se já estiver em repouso. Quando é aplicado uma força maior que a força de atrito máxima, o bloco entra em movimento e o valor da força de atrito diminui e não muda mais, independentemente do valor da força aplicada. Muitos estudantes não estavam conseguindo visualizar isto antes da discussão com a simulação. Através do uso da simulação, foi possível discutir fenômenos de forma animada, com situações que envolvem movimentos, diferente da forma estática que estava sendo proposta até o momento (MEDEIROS E MEDEIROS, 2002). Esta foi a única discussão realizada com simulação na turma 1.

Voltando à questão 4 após esta discussão com a simulação, foi perguntado novamente qual será o valor da força de atrito quando o bloco recebe uma força de 50 N. O estudante 25 disse que temos que calcular a força de atrito dinâmica. Foi calculado então o valor da força de atrito dinâmica, encontrando um valor de 24 N. Foi comentado pelo professor que qualquer força maior que 32 N, fará o bloco se movimentar, e nesta situação a força de atrito será denominada força de atrito dinâmica e terá um valor de 24 N.

Na turma 2 os estudantes também apresentaram dificuldades nas questões 4, 5, 6 e 7. Os erros cometidos durante a resolução aconteceram quando os estudantes substituíram o valor da força aplicada no valor da força normal na fórmula na hora de calcular o valor da força de atrito em todas as questões. A maior dificuldade foi interpretar os problemas e tirar os dados das questões. Durante a resolução, alguns

estudantes ainda não entenderam o fato que força de atrito é igual à força aplicada quando o bloco se move com velocidade constante e a força de atrito máxima corresponde à máxima força que o bloco suporta sem se mover.

A tabela 5 faz uma comparação entre o percentual de acertos para cada turma, assim como apresenta o percentual de estudantes que afirmaram ter dificuldades para a resolução das questões.

Tabela 5 - Comparação das respostas e avaliação das dificuldades sobre as atividades teóricas sobre força de atrito

Questionário envolvendo as equações da força de atrito	Turma 1	Turma 2
		75% correto
	25% incorreto	33,4% incorreto
Em relação às dificuldades	80% de dificuldades de interpretação	16,6% de dificuldades de interpretação

Fonte: O autor.

Comparando-se os resultados obtidos, é possível observar que a turma 1 obteve melhores resultados. Porém, como os estudantes puderam conversar para tirar dúvidas (inclusive com o professor), não é possível concluir que estes estudantes obtiveram melhor aprendizado.

Observa-se ainda que uma porcentagem significativamente maior dos estudantes da turma 1 responderam ao final do questionário que tiveram dificuldades de interpretação das questões. Estas dificuldades podem estar relacionadas à dificuldade de compreender as forças que agem no objeto empurrado/puxado. A turma 2, pelo fato de ter realizado as atividades com simulação, puderam observar e tirar conclusões sobre estas forças mais facilmente que a turma 1. Na sequência cada uma das questões é discutida separadamente.

Na turma 1, 75% (15) acertaram as questões, 15% (3) fizeram os cálculos incorretamente ao confundir força de atrito com coeficiente de atrito no momento de substituir nas fórmulas e 10% (2) não responderam as questões. Ao serem questionados sobre as dificuldades encontradas, 80% (16) afirmaram que tiveram dificuldades de interpretar os problemas. Alguns estudantes comentaram que não sabiam o que fazer, não sabiam quais contas fazer ou quais fórmulas utilizar, como montar as contas. Fatores que podem ter causado esta dificuldade são a falta de leitura e dificuldades de resolver equações.

Como foi feita a correção, é possível que alguns estudantes tenham copiado as questões do quadro e não informado ao professor, portanto este percentual de acertos pode ser diferente do real, uma vez que a dificuldade desta turma foi bem grande durante a realização das atividades.

Na turma 2, 66,6% (12) responderam as atividades corretamente, 27,7% (5) também confundiram coeficiente de atrito com força de atrito no momento de substituir os valores nas fórmulas. O estudante 24 não respondeu as questões, mas afirma ter achado as questões fáceis e se esforçado pouco. Ao final da atividade, quando foi questionado quais as dificuldades, 16,6% (3) comentaram que tiveram dificuldades de interpretar os problemas e os outros estudantes não comentaram nada a respeito.

Nas duas turmas, a maioria dos estudantes afirmou que o nível das questões era difícil. Entretanto, ao serem questionados sobre as dificuldades, poucos estudantes da turma 2 afirmaram ter dificuldades de interpretação das questões, enquanto que na turma 1, a maioria teve dificuldades de interpretar os problemas e determinar o que a questão pedia. Uma percepção do professor foi que a turma que não utilizou simulação também teve mais dificuldades para acompanhar a resolução dos exemplos, e de compreender que a força de atrito estática é igual à força aplicada. Ao serem questionados qual o valor da força de atrito, muitos não sabiam nem por onde começar, mesmo após alguns exemplos.

7.2 Estudo sobre a primeira lei de Newton

7.2.1 Concepções iniciais sobre os conceitos associados à primeira lei de Newton

Antes de iniciar a discussão sobre a primeira lei de Newton, os estudantes responderam 5 questões para discutirmos as concepções espontâneas sobre o movimento de um corpo.

Sobre a primeira questão, *“o que acontece com seu corpo quando o ônibus freia bruscamente?”*, encontramos como resposta o esperado. Na turma 1, 90% (18), afirmaram que o corpo vai para frente, enquanto que 10% (2) fizeram alusão a existência de uma força, ao escreverem que o nosso corpo é impulsionado/jogado para frente.

Na turma 2, 16 estudantes estavam presentes no dia. Destes, 87,5% (14) escreveram que nosso corpo move-se para frente ou que vai

para frente e 12,5% (2) responderam que nosso corpo é jogado para frente. Neste caso, percebe-se que estes 2 estudantes fazem alusão a existência (indiretamente) de uma força para frente, podendo estar associado a concepção de que para que haja um movimento, é necessário a ação de uma força (ZILBERSZTAJN, 1983; NOGUEIRA et al., 2007), assim como os dois estudantes da turma 1.

Sobre a segunda questão, “*E quando o ônibus acelera?*”, na turma 1, 80% (16) escreveram que o nosso corpo vai para trás e 20% (4) fizeram alusão a existência de uma força que faz o corpo ir para trás, como por exemplo na resposta do estudante 25, que escreveu: “*O corpo é impulsionado para trás*”. Destes 4 estudantes, 2 que fizeram alusão a existência de uma força na questão 1, a fizeram também na questão 2.

Na turma 2, 93,7% (15) responderam que nosso corpo vai para trás, mas sem explicar uma causa e 6,3 % (1) respondeu que o corpo é forçado a ir para trás. Os 2 estudantes que responderam na questão anterior de uma forma que faz alusão a uma força, neste caso não a fizeram. Já o estudante 5, que na questão anterior comentou apenas que o corpo se movimenta para frente, nesta questão fez alusão a força.

Na terceira questão, onde foi perguntado o que acontece com nosso corpo quando o ônibus faz uma curva muito rápido, na turma 1, 20% (4) escreveram que o corpo vai para o mesmo lado da curva e 80% (16) escreveram que o corpo vai para o lado oposto à curva. Nenhum estudante desta turma fez alusão à existência de uma força neste caso.

Na turma 2, 56,2% (9) responderam que o corpo vai para o lado contrário à curva, enquanto que 25% (4) afirmaram apenas que o corpo vai para o lado, mas não disseram qual lado, 18,8% (3) fizeram alusão à existência de uma força, afirmando que o nosso corpo se joga para o lado oposto. Estes 3 estudantes não fizeram alusão a existência de força nas questões anteriores. Como nas três questões, estudantes diferentes fizeram alusão à existência de força neste tipo de movimento, não podemos afirmar que os estudantes desta turma têm a concepção que para que haja movimento, é necessário a ação de uma força.

Na questão 4 foi perguntado qual a importância do cinto de segurança em um carro ou ônibus. Na turma 1, 45% (9) escreveram como resposta que é para evitar que o corpo se mova de forma brusca, 25% (5) escreveram que é para o corpo não se machucar. Estes 14 estudantes fizeram alusão à existência de movimento nas questões anteriores, não à existência de força. O restante da turma, 30% (6) fizeram alusão à existência de força, ao escrever que o cinto impede que o corpo seja impulsionado/atirado para frente, como o estudante 16, que escreveu: “*Para evitar de sermos lançados para qualquer direção*”.

Destes 6 estudantes, 3 fizeram alusão à existência de força nas primeiras questões.

Na turma 2, 18,8% (3) fizeram alusão a existência de uma força, afirmando que o cinto serve para evitar que o corpo seja lançado do carro, sendo que 2 destes 3 estudantes, escreveram na primeira questão que o corpo é jogado para frente em uma freada, também fazendo alusão a existência de uma força. Outros 43,7% (7) usaram o termo voar, escrevendo respostas semelhantes à do estudante 1, que respondeu: *“Para não voar para fora do carro em um acidente ou evitar ferimentos graves”*. Estes 7 estudantes fizeram alusão a existência de movimento nas questões anteriores. Observamos ainda que 12,5% (2) responderam que o cinto de segurança serve para nos segurar no veículo, fazendo alusão de que o cinto aplica força, mas o corpo não está sujeito a uma força para frente neste momento. Estes 2 estudantes fizeram alusão a existência de uma força na pessoa quando o carro ou ônibus faz uma curva muito rápido. Os outros 25% (4) afirmaram que o cinto serve para manter nosso corpo dentro do carro ou para não ir para frente. Estes 4 estudantes fizeram alusão a existência de movimento nas questões anteriores. De maneira geral, nas duas turmas os estudantes fazem alusão ao movimento, sem a existência de uma força para impulsionar o corpo.

Na quinta questão, foi perguntado se é necessário a ação de uma força para manter um corpo em movimento. Na turma 1, 80% (16) afirmaram que sim, 5% (1) afirma que não, 5% (1) que fez alusão a existência de uma força para que haja movimento, nesta questão escreveu: *“Nem sempre, pois no carro em função de passageiro, você não aplica nenhuma força”*, 5% (1) afirmou que sim e deu como exemplo o ato de caminhar e 5% (1) lembrou que na ausência de força de atrito, não é necessário a ação de uma força.

Na turma 2, 56,2% (9) escreveram apenas que sim, 6,2% (1) afirmou que é necessário a força gravitacional para que haja movimento, 12,5% (2) afirmaram que é necessário a força de atrito para que haja um deslizamento, 18,78% (3) escreveram que depende, pois em uma ladeira não é necessário a ação de uma força. Estes estudantes ignoraram as demais forças que atuam sobre o corpo e o papel da força peso. Um estudante não respondeu a questão.

Após os estudantes responderem as questões na folha, fizemos uma discussão das respostas dadas. Na turma 1, uma justificativa interessante de porque o corpo move-se para frente foi dada pelo estudante 28 (estudante não entregou o questionário pois levou para casa para terminar e mudou de escola), ao afirmar que o corpo vai para frente

porque o corpo continua em seu estado de movimento. Na questão 2, todos os estudantes que responderam disseram que o corpo vai para trás. Nesta situação, os estudantes não souberam dizer o porque. Apenas o estudante 28 afirmou que o corpo fica para trás porque quem vai para frente é o ônibus, é ele que recebe a força para ir para frente, ai o corpo fica para trás. Nenhum estudante contestou a resposta do estudante 28.

Ao serem questionados sobre o que ocorre com o corpo quando um ônibus faz uma curva, todos comentaram que o corpo vai para o outro lado. Segundo o estudante 28, o corpo vai para o lado oposto porque quem está mudando de direção é o ônibus e não o corpo. Novamente os estudantes não discordaram e nem concordaram com a resposta.

A questão seguinte tratava da importância do cinto de segurança. Para os estudantes, o cinto de segurança é importante para não permitir o corpo se mover no banco, para não morrer, para não sair voando (quando acontece uma batida).

A questão (e) pedia aos estudantes para pensar em uma situação em que um corpo permanece em movimento sem receber nenhuma força. Os estudantes disseram que não há nenhuma situação. Para o estudante 28, quando o carro faz uma freada brusca, o nosso corpo permanece em movimento sem receber nenhuma força. Neste momento o estudante 17 discordou afirmando que é o banco que aplica uma força no corpo fazendo ele ir para frente. O estudante 28 se manteve com sua opinião. O estudante 17 também se manteve com sua opinião de que é preciso o impulso do banco do carro para o corpo continuar em movimento, ou seja, o corpo está indo para frente porque o banco do veículo está aplicando uma força constantemente. Foi comentado pelo professor que mais para frente o problema seria melhor discutido.

Na turma 2, a discussão foi um pouco diferente, pois foi sugerido pelo segundo professor da turma (professor que acompanha um estudante com autismo) fazer o experimento usando uma cadeira de rodinhas. Um estudante sentou-se na cadeira e esta foi empurrada. De repente ela foi freada. Podemos observar que o corpo da pessoa vai para frente. Ao serem questionados por que isso ocorre, o estudante 11 afirmou que o estudante foi para frente porque ele não está preso na cadeira. A cadeira é freada mas o corpo continua em movimento. Podemos verificar que este conhecimento está de acordo com a primeira lei de Newton. Nenhum estudante deu uma resposta semelhante.

Fizemos o experimento que diz respeito à questão 2. O mesmo estudante sentou na cadeira com ela parada e de repente foi dado um impulso. No momento, os estudantes disseram que o corpo foi para trás.

Foi comentado pelo professor que em relação à cadeira o corpo ficou para trás, mas em relação às pessoas que ali estavam, o corpo não foi para trás. Foi pedido para os estudantes pensarem sobre a situação da seguinte forma: Foi o corpo que foi para trás, ou a cadeira que foi para frente? No mesmo caso, quando a cadeira foi freada, o corpo que foi para frente ou a cadeira que foi freada?

Dando sequência a terceira pergunta, para os estudantes, quando o ônibus faz uma curva, o corpo vai para o lado oposto à curva. Novamente foi pedido para os estudantes pensarem se é o corpo que vai para o lado oposto, ou se é o ônibus que está mudando de direção e o corpo tende a continuar em linha reta.

Na questão sobre a importância do cinto de segurança, os estudantes responderam: para não morrer, para não ser voar do carro, para não ser lançado para frente. Foi pedido pelo professor para relacionar com a primeira questão: quando acontece uma freada brusca, o que ocorre com o corpo? Neste momento o estudante 11 disse que o corpo continua em movimento, então o cinto deve ser usado para evitar que o corpo continue em movimento.

Na questão (e), foi discutido sobre a importância de uma força para manter um corpo em movimento. Para o estudante 19 (turma 2) não é necessário uma força para manter um corpo em movimento descendo um morro. Foi discutido que na descida de um morro, existe a força peso, responsável em fazer o corpo descer. Ele aparentemente mudou de opinião neste momento, dizendo que é preciso uma força para manter o corpo em movimento. Ao serem questionados por que é preciso uma força para manter o corpo em movimento, o estudante 11 disse que é por causa da força de atrito. Ninguém conseguiu lembrar de outra situação em que não é necessário aplicar uma força para manter um corpo em movimento. Esperamos com a simulação que os estudantes observem que o que faz o corpo diminuir a velocidade é a força de atrito. Quando esta força é igual à zero, o corpo se mantém em movimento retilíneo e uniforme.

7.2.2 Discussão e experimentos sobre primeira lei de Newton na turma 1

Após a discussão das respostas, na turma 1 foi discutido o que ocorre com a velocidade de um caixote quando recebe uma força maior, menor ou igual à força de atrito. A discussão foi feita através de imagens estáticas projetadas no quadro, com o objetivo de chegarmos à

conclusão que se a força resultante for nula, um corpo em movimento permanece em movimento retilíneo e uniforme se já estiver em movimento.

Na sequência foram propostos dois experimentos, o experimento da toalha puxada, e o experimento do CD que “flutua” (Figura 12) para complementar a discussão da primeira lei de Newton. No experimento da toalha puxada, foram colocados alguns objetos sobre uma toalha na mesa do professor. Foi perguntado o que pode ocorrer se a toalha for puxada. Alguns estudantes disseram que depende da forma com que é puxado.

Foi mostrado um vídeo que faz este experimento. No vídeo⁷ (montagem do papa puxando a toalha), os objetos que estão sobre a toalha permanecem sobre a mesa quando a toalha é puxada. Os estudantes foram convidados a fazer o experimento. Apenas dois estudantes vieram até a mesa do professor para fazer o teste. Ao realizarem o experimento, eles puxaram a toalha rapidamente, fazendo com que os objetos permanecessem sobre a mesa. Ao serem questionados o porque de os objetos não caírem, eles (não me lembro quais estudantes) comentaram que é porque a toalha foi puxada rapidamente. Reforçando esta ideia, o professor comentou que a toalha puxada rapidamente aplica uma força de atrito em um intervalo de tempo bem pequeno. Como os corpos estavam em repouso, eles permanecem sobre a mesa porque tendem a permanecer em repouso. É uma tendência natural que todos os corpos têm.

Para tentar demonstrar que um corpo em movimento permanece em movimento retilíneo e uniforme quando não recebe força ou quando a força resultante for nula, foram realizados três lançamentos de objetos: primeiro um apagador sobre a mesa, percorrendo uma pequena distância e parando rápido, em seguida um carrinho, parando mais devagar e em seguida um aparato composto de um CD, uma rola e um balão (Figura 12).

⁷ Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=l91JZu-Y9ul>>

Figura 12 - Experimento do CD com balão



Fonte: O autor.

Uma rolha está presa no meio do CD com um pequeno furo. Colocando-se o balão cheio de ar preso à rolha, permitirá a saída suave de ar por baixo do CD, fazendo-o “flutuar” sobre a mesa. Desta forma, a força de atrito é praticamente nula. No experimento foi possível observar que o objeto permanece em movimento retilíneo e praticamente com a mesma velocidade em todo o percurso. Durante a atividade, os estudantes se mantiveram atentos e surpresos com o movimento do CD. Foi esperado que esta atividade tenha mostrado a tendência que um corpo tem de manter-se em movimento quando a força resultante externa for nula.

Aparentemente as atividades foram interessantes, pois o nível de concentração da turma foi alto. Os estudantes não responderam questionários referentes aos experimentos.

7.2.3 Atividade com simulação para discutir primeira lei de Newton com a turma 2

Com a turma 2, após a discussão das concepções iniciais, foi realizado uma atividade investigativa utilizando a simulação no modo atrito. Os estudantes realizaram a investigação seguindo um roteiro

(Apêndice F). Na atividade, o estudante observou que em uma situação que um corpo se move em uma superfície com muito atrito, ao reduzirmos a força aplicada até zero, a velocidade do corpo diminui muito rapidamente. Os estudantes justificaram que a velocidade diminuiu muito rapidamente porque a força de atrito é muito alta. Somente um estudante justificou a redução da velocidade do caixote pelo fato de não haver mais uma força aplicada sobre ele. Na sequência da atividade, os estudantes reduziram a força de atrito e observaram que a velocidade diminuiu mais devagar. Os estudantes justificaram a mudança pela redução da força de atrito. Como o atrito é menor, a velocidade irá diminuir mais devagar.

Na sequência foi pedido aos estudantes para reduzirem o atrito até zero. Colocando o caixote em movimento e parando de aplicar a força, os estudantes observaram que o caixote se movimenta com velocidade constante. Neste dia, estavam presentes 17 estudantes. Destes, 17,6% (3) justificaram que o movimento do caixote é constante porque a superfície está lisa ou muito lisa, 58,8% (10) afirmaram que não tem mais força de atrito, 17,6% (3) não deram respostas relacionando com o atrito, escrevendo: “*Porque a velocidade fica parada no mesmo número*”, e 5,8% (1) deu uma justificativa mais completa, pois justificou que não tem nada que o faça parar, pois a força de atrito é nula. Era este tipo de conclusão que esperávamos que os estudantes chegassem. Como não foram feitas entrevistas, outros estudantes podem ter respondido corretamente, mas não explicitaram que neste caso, sem atrito a força resultante é nula.

Na última parte da atividade, os estudantes colocaram o caixote em movimento e reduziram a força aplicada de modo que ela fosse igual à força de atrito. Neste caso, os estudantes observaram que a velocidade do caixote permanece constante novamente. Ao explicarem porque isso ocorre, 47% (8) escreveram que não tem força resultante (estes 8 estudantes justificaram na questão anterior que não havia força de atrito), 11,7% (2) escreveram que a força aplicada é igual à força de atrito e não completaram a resposta como o esperado e 41,3% (7) não justificaram. Novamente tínhamos como objetivo na atividade observar e chegar a conclusão que em uma situação em que a força resultante é nula, o corpo permanece em movimento retilíneo e uniforme.

Ao serem questionados sobre as dificuldades de realizar a tarefa, somente o estudante 26 colocou que teve dificuldades de entender as questões. Podemos concluir que foi uma atividade bem sucedida, no qual a maioria dos estudantes fez uma boa participação com altos níveis de concentração.

Ao final da atividade, foi feita uma discussão dos resultados encontrados com foco nos seguintes pontos: quando a única força que está atuando no caixote for a força de atrito e ela for grande, a velocidade do caixote diminui rapidamente. Quando a força de atrito for baixa, a velocidade do caixote também diminui, mas com uma rapidez menor. Quando diminuimos ao máximo o valor da força de atrito, a velocidade do caixote não diminui mais, uma vez que a força de atrito é a força responsável em fazer o caixote parar.

Foi pedido aos estudantes para pensarem no movimento de um patinador no gelo. Ele dá alguns impulsos no começo e quando ele para de se impulsionar, seu corpo permanece em movimento quase que com velocidade constante. A ideia é fazer o estudante chegar à conclusão que se conseguirmos tirar completamente o atrito nos movimentos, o corpo permanece em movimento retilíneo e uniforme sem a necessidade de uma força aplicada, pois ele tem esta tendência natural de se manter em movimento. Foi discutido também a última parte da atividade, onde a força aplicada era igual a força de atrito no sentido oposto. Neste caso, a força resultante também é nula. Neste caso, o corpo também se mantém em movimento retilíneo e uniforme. Após esta discussão foi dado o anunciado da primeira lei de Newton: Todo corpo tende a manter-se em repouso ou movimento retilíneo e uniforme a menos que a força resultante seja diferente de zero. A força resultante deve ser nula quando a força de atrito e a força aplicada são nulas ou quando são iguais e em sentidos opostos.

7.2.4 Atividades experimentais com turma 2

As mesmas atividades experimentais foram realizadas com a turma 2 após a atividade com simulação. No experimento da toalha puxada, novamente dois estudantes realizaram o experimento puxando a toalha rapidamente para os objetos permanecerem sobre a mesa. Nas duas turmas a fala do professor foi semelhante, ao afirmar que a força de atrito atua por um intervalo de tempo bem pequeno quando a toalha é puxada rapidamente, e como os objetos têm uma tendência de permanecer em repouso se já estiverem em repouso, eles permanecem sobre a mesa.

Ao serem questionados como podemos montar um experimento na sala usando os materiais citados para mostrar que um corpo em movimento permanece em movimento, os estudantes sugeriram usar gelo, água e sabão, materiais que têm um baixo coeficiente de atrito.

Após os estudantes verem o balão, foi sugerido também encher o balão com gás hélio e amarrar sobre o CD para fazê-lo flutuar. Esta foi a maneira que algum estudante sugeriu para diminuir a força normal em vez do coeficiente de atrito. Foi uma resposta inteligente pois mostra que este estudante sabe que é possível diminuir a força de atrito diminuindo o coeficiente de atrito ou a força normal. Foi comentado pelo professor que é uma boa ideia, mas não será procedido daquela maneira. Fomos até o refeitório, onde há mesas longas e planas para realizar a atividade. Ao dar um impulso no CD, ele foi de um lado a outro da mesa sem ser percebido uma redução de velocidade. Os estudantes ficaram surpresos com o ocorrido. Na sequência o professor explicou porque isto ocorre.

7.2.5 Atividades sobre primeira lei de Newton

Após as atividades experimentais sobre primeira lei de Newton, os estudantes das duas turmas iniciaram um questionário sobre a primeira lei de Newton (Apêndice G). O objetivo do questionário é analisar se os estudantes assimilaram os conceitos discutidos sobre primeira lei de Newton. A tabela 6 faz uma comparação dos resultados obtidos. Na sequência, cada questão é discutida separadamente.

Tabela 6 - Resumo com a relação de acertos/erros das questões sobre a primeira lei de Newton e dificuldades de interpretação/resolução

Questão	Turma 1	Turma 2
1	60% correto	61,1% correto
	40% incorreto	38,9% incorreto
2	70% correto	53,7% correto
	30% incorreto	46,3% incorreto
3	75% correto	72,7% correto
	25% incorreto	27,3% incorreto
4	75% correto	54,5% correto
	25% incorreto	45,5% incorreto
5	73% correto	73% correto
	27% incorreto	27% incorreto
6	36,8% correto	23% correto
	63,2% incorreto	77% incorreto
7	88,8% correto	72,7% correto
	11,2% incorreto	27,3% incorreto
Dificuldades de interpretação e resolução	25% da turma	26,6% da turma

Fonte: O autor.

Questão 1: *Um jogo muito badalado na área de jogos de um shopping é o Air Hockey, que consiste de uma mesa cheia de furos no qual sai uma corrente de ar, um disco de hockey e dois objetos que são utilizados para os participantes atingirem o disco. Neste jogo, os participantes ficam um de cada lado da mesa com o objetivo de fazer um “gol” arremessando o disco até o outro lado da mesa. Percebe-se que o disco arremessado movimentar-se com velocidade praticamente constante de um lado a outro da mesa. Com base na discussão realizada como você explica o jogo funcionar perfeitamente.*

Era esperado que os estudantes respondessem que o ar é responsável em fazer o disco “flutuar”, diminuindo assim a força de atrito sobre o disco para ele se movimentar praticamente com velocidade constante.

Analisando as respostas dadas, na turma 1, 60% (12) acertaram a questão ao fornecer a ideia de que a corrente de ar faz o atrito diminuir ou se reduzir até zero, e conseqüentemente o disco desliza mais facilmente. Exemplos de respostas corretas foram dadas pelo estudante 3, que escreveu: *“A corrente de ar faz a força de atrito diminuir e o disco fica praticamente constante”*, e pelo estudante 8, que escreveu: *“Diminui a força de atrito para zero e a velocidade do disco é constante”*. O estudante 17 fez uma analogia ao movimento no gelo, pois lá o atrito é menor, escrevendo: *“O ar faz o disco flutuar, como no gelo”*. É possível que este estudante tenha feito analogia correta ao associar com o atrito baixo, ou incorretamente ao associar a redução do atrito no gelo com o fato de o corpo “flutuar”. Outros 10% (2) deram respostas incompletas, como o estudante 19 que escreveu: *“Ele funciona perfeitamente, mas vai perdendo velocidade com o tempo”* e 25% (5) não responderam a questão.

Na turma 2, 61,1% (11) da turma responderam a questão corretamente. Ao escreverem as respostas, 55,5% (10) comentaram que o ar que sai dos furos é responsável pelo bom funcionamento do jogo, como o estudante 1, que escreveu: *“Com o ar saindo de baixo para cima, ele faz o disco flutuar sobre a mesa”*, porém destes 10 estudantes, apenas 2 estudantes (11,1%) citaram que a força de atrito é diminuída, como o estudante 5, que escreveu: *“O ar que sai de baixo para cima faz o disco flutuar, fica sem atrito”*. Já o estudante 3, não citou o ar como sendo o responsável, ao escrever: *“Se a força de atrito for nula, a velocidade não diminui”*. Nesta turma, 38,9% (7) não responderam a questão. Como as atividades foram de deveres para casa, pode ter

ocorrido uma falta de comprometimento por parte destes estudantes. Comparando somente os estudantes que responderam, na turma 1, 80% (12) das respostas estavam corretas, enquanto que na turma 2, 100% (11) das respostas estavam corretas.

Questão 2: O uso do cinto de segurança é obrigatório no Brasil, inclusive para os passageiros do banco de trás do veículo. Em uma colisão, os passageiros são “arremessados” para frente do veículo. Para evitar que o passageiro ou o motorista colidam com o painel ou para-brisa do carro, é utilizado o cinto de segurança. Explique este fato, com base nas discussões realizadas em sala.

Era esperado nesta questão que os estudantes respondessem que o corpo tem uma tendência natural de se manter em movimento, e o cinto de segurança impede o corpo de se manter em movimento em uma freada forte ou colisão. O objetivo da questão era analisar se o estudante obteve uma ressignificação sobre a tendência natural que o corpo tem de se manter em seu estado de movimento quando já está em movimento.

Na turma 1, houve diferença entre as respostas dadas no início quando foi buscado as concepções espontâneas. As respostas que eram sem nenhum embasamento científico, agora foram justificadas com argumentos relacionados à primeira lei de Newton, sendo que 70% (14) forneceram respostas corretas afirmando que o cinto de segurança deve ser utilizado para impedir que o corpo que está em movimento, permaneça em movimento quando acontece uma batida ou freada. Como exemplo pode-se citar a resposta do estudante 25: *“O corpo tende a permanecer em movimento e o cinto de segurança impede que o corpo continue em movimento durante uma batida por exemplo”*. Este mesmo estudante, que primeiramente fez alusão a existência de uma força que faz o corpo se manter em movimento, nesta situação fez alusão a existência de tendência de se manter em movimento. Já o estudante 10, que também fez alusão a existência de força numa freada ou acelerada, neste caso respondeu: *“O corpo está em movimento constante então tem a tendência de continuar se movendo em uma freada, então o cinto impede que ele seja arremessado”*. Este estudante fez alusão a existência de força no final da resposta, mas no início ele citou a tendência que o corpo tem de manter seu estado de movimento. Segundo estes estudantes, o corpo que está em movimento, mantém-se, ou tende a manter-se em movimento. Outros 25% (5) escreveram como resposta algo sem o uso de conceitos esperados, como por exemplo o estudante 12 que escreveu: *“Para os passageiros não se machucarem”* e 5% (1) não respondeu a questão.

Na turma 2, também houve mudança nas respostas dos estudantes comparada à questão que foi feita para buscar as concepções espontâneas antes da discussão sobre primeira lei de Newton. Compareceram neste dia 15 estudantes, destes, 53,5% (8) responderam que o corpo irá permanecer em movimento e o cinto impede que o corpo permaneça em movimento, como por exemplo o estudante 5, que escreveu: “*Quando acontece uma freada, o corpo tende a permanecer em movimento. O cinto impede que o corpo continue em movimento e colida com o painel*”, 33,3% (5) escreveram uma resposta sem o uso de conceitos esperados, como os estudantes 7 e 22 que responderam: “*É importante porque se der um acidente ou até mesmo uma freada, pode se machucar ou até mesmo morrer*”, e 13,2% (2) não responderam a questão.

Questão 3: *Uma folha de papel está sobre a mesa do professor. Sobre ela está um apagador. Dando-se, com violência, um puxão horizontal na folha de papel, esta se movimenta e o apagador fica sobre a mesa. Uma explicação aceitável para a ocorrência é:*

JUSTIFIQUE SUA ESCOLHA.

- a) *nenhuma força atuou sobre o apagador;*
- b) *a resistência do ar impediu o movimento do apagador;*
- c) *a força de atrito entre o apagador e o papel só atua em movimentos lentos;*
- d) *a força de atrito entre o papel e a mesa é muito intensa;*
- e) *a força de atrito entre o apagador e o papel provoca, no apagador, uma aceleração muito inferior à da folha de papel.*

Semelhante à questão anterior, o objetivo era analisar se o estudante assimilou o conceito de inércia para o corpo em repouso.

Na turma 1, 60% (12) assinalaram corretamente a alternativa (e), afirmando que a força de atrito entre o apagador e a folha de papel provoca, no apagador, uma aceleração bem inferior à da folha de papel, 15% (3) assinalaram a alternativa c, que afirma que a força de atrito só atua em movimentos lentos, 5% (1) assinalou a alternativa b, que afirma que a resistência do ar impediu o movimento do apagador e 20% (4) não responderam a questão. Não foi possível identificar se foi por dificuldades ou por falta de comprometimento.

As justificativas corretas foram dadas por 25% (5) da turma, contendo itens como o fato de a força de atrito atuar durante um tempo muito curto, e devido a isso, o corpo em repouso, tenderia a permanecer em repouso. Outros 10% (2) também justificaram, mas de forma incorreta, como o estudante 7 que justificou afirmando que se a folha for puxado muito rápido a força de atrito será pequena e se for puxado

devagar a força de atrito será grande. O estudante 19 afirmou que o objeto permanece em repouso sobre a mesa devido a gravidade.

Na turma 2, 53,3% (8) assinalaram corretamente o item (e), 20% (3) erraram a questão e 26,7% (4) não responderam a questão. Novamente não é possível saber se foi por falta de entendimento ou por falta de comprometimento.

Ao justificarem, 40% (6) escreveram respostas semelhantes a do estudante 17: *“Porque foi puxado somente a folha e ela é uma superfície lisa com pouco atrito”*. Os estudantes 7 e 22 que assinalaram incorretamente, afirmando que a força de atrito entre o apagador e o papel só atua em movimentos lentos, justificaram que: *“Quando há movimento muito rápido irá derrubar pois irá perder equilíbrio”*. Estes dois estudantes faltaram na aula no qual o experimento foi realizado e discutido. Nenhum estudante comentou sobre a tendência que um corpo tem de permanecer em repouso se já estiver em repouso.

Considerando apenas os estudantes que responderam a questão, na turma 1, 75% acertaram a questão, enquanto que na turma 2, 72,7%. Como o experimento da toalha puxada serviu de base para a discussão desta questão, percebemos que ele impôs o mesmo efeito em ambas as turmas para responder esta questão.

Questão 4: *Ao empurrarmos uma mesa, ela se movimenta com velocidade constante. Sobre este movimento, podemos afirmar que:*

- a) *A força aplicada é maior que a força de atrito.*
- b) *A força resultante é zero.*
- c) *A força de atrito é maior que a força aplicada.*
- d) *Não há força de atrito atuando.*

JUSTIFIQUE SUA ESCOLHA.

Novamente o objetivo da questão foi analisar se o estudante aparentemente entendeu que se um objeto se movimenta com velocidade constante é porque a força resultante atuando sobre ele é nula.

Na turma 1, 60% (12) assinalaram corretamente a alternativa (b), que afirma que a força resultante é nula, 15% (3) assinalaram a alternativa (a), afirmando que a força aplicada é maior que a força de atrito, 5% (1) afirmou que não há força de atrito e 20% (4) não responderam a questão.

Nas justificativas, 15% (3) estudantes que assinalaram corretamente o item (b) afirmaram que se a força resultante for diferente de zero, a velocidade aumenta ou diminui, 20% (4) afirmaram que as duas forças são iguais, então a força resultante é nula. O estudante 17, que afirmou que a força de atrito é nula (assinalou item

(d)), justificou escrevendo: “*Se pararmos de empurrar e o objeto continuar em movimento, não há mais força de atrito*”.

Na turma 2, 40% (6) assinalaram corretamente a alternativa (b), 26,7% (4) assinalaram que não há força de atrito para que a mesa se mova com velocidade constante (alternativa (d)), 6,6% (1) assinalou que a força aplicada deve ser maior que a força de atrito, justificando: “*Se a força aplicada for maior que a força de atrito o objeto entrará em movimento, como puxamos a mesa utilizando a mesma força ela ficará em velocidade constante*” (estudante 23) e 26,7% (4) não responderam a questão.

Sobre a justificativa do estudante 23, conclui-se que ele não entendeu a questão. É possível que ele tenha confundido com algum conceito discutido anteriormente, que se refere a aplicar uma força maior do que a força de atrito estática máxima para o objeto entrar em movimento.

Uma justificativa correta foi dada por 20% (3) da turma, como por exemplo, o estudante 5, que escreveu: “*Quando algo se move com mesma velocidade, a força aplicada é igual a força de atrito e a força resultante é nula*”. Fazendo uma comparação somente dos estudantes que responderam a questão, na turma 1, 75% acertaram a questão, enquanto que na turma 2, 54,5% acertaram a questão. Na turma 1, 35% (7) justificaram corretamente e na turma 2, somente 26,6% (4), ao afirmarem que se a força resultante for diferente de zero, a velocidade pode aumentar ou diminuir, ou ainda, se a velocidade é constante, é porque a força aplicada é igual a força de atrito.

Questão 5: *Quando estamos dentro de um ônibus em movimento, também estamos em movimento em relação ao solo. O que poderá ocorrer com nosso corpo se saltarmos de um ônibus em movimento?*

O objetivo da questão era provocar uma reflexão sobre a tendência que o corpo tem em se manter em movimento quando já está em movimento. Esperávamos que os estudantes escrevessem algo relacionado à tendência que o corpo tem de se manter em movimento, porém após analisar as respostas dos estudantes, percebemos que a maneira com que a pergunta foi colocada, cair e se machucar pode ser uma resposta correta.

Na turma 1, 40% (8) responderam que o corpo continua em movimento quando chegar ao solo, como o estudante 18 que escreveu: “*Sai rolando na hora que encosta no chão*”, 20% (4) afirmaram que haverá força de atrito quando o corpo tocar o solo, 15% (3) afirmaram apenas que o corpo terá ferimentos ou que irá cair e 25% (5) não responderam a questão.

Na turma 2, 33,3% (5) afirmaram que nosso corpo continua em movimento, como o estudante 17 que justificou: “*Vamos nos desequilibrar, porque o nosso corpo estará em movimento*”, 20% (3) escreveram apenas que a pessoa irá cair e se machucar, 13,3% (2) escreveram que a pessoa irá parar ao chegar ao solo, 6,7% (1) escreveu que não acontecerá nada e 26,7% (4) não responderam a questão.

Comparando apenas os estudantes que responderam a questão, aproximadamente 73% de cada turma respondeu corretamente da forma com que a pergunta foi feita. O fenômeno em si, de se manter em movimento numa situação como a descrita na questão não foi discutida com uso da simulação.

Questão 6: *É necessário a ação de uma força para manter um corpo em movimento?*

O objetivo da questão era analisar se o estudante teve uma ressignificação conceitual comparada à questão que foi dada no início da discussão sobre primeira lei de Newton. Esperávamos que os estudantes respondessem que não é necessário a ação de uma força quando não há força de atrito.

Na turma 1, 40% (8) responderam apenas que não, mas sem justificar, 35% (7) responderam que sim, dando uma justificativa correta, como do estudante 17, que escreveu: “*Se ele não estiver recebendo força de atrito não é necessário*”, 20% (4) responderam apenas que sim, mas sem justificar e 5% (1) não respondeu a questão.

Na turma 2, 44,4% (8) responderam apenas que sim, é necessário a ação de uma força para manter um corpo em movimento, mas sem justificar sua resposta, 16,7% (3) escreveram respostas corretas, justificando com base na primeira lei, ou afirmaram que não, justificando corretamente, como os estudantes 3 e 5: “*Sim, quando houver força de atrito e não quando não houver força de atrito*”, e o estudante 23: “*De acordo com a primeira lei de Newton não é necessário uma força, pois o corpo sem atrito se mantém em movimento retilíneo e uniforme*”, 11,1% (2) escreveram: “*Sim, precisamos da força de atrito para equilíbrio*” e 27,8% (5) não responderam a questão. Aparentemente somente 16,7% (3) conseguiram lembrar da situação com a simulação e das discussões, no qual observaram que num caso sem atrito o corpo em movimento permanece em movimento uniforme.

Na turma 2, mesmo realizando a atividade com simulação, que permitiu a visualização de que um corpo em movimento permanece em movimento quando a força de atrito e a força aplicada são nulas, uma porcentagem pequena conseguiu responder corretamente a questão. Comparando somente os estudantes que responderam e justificaram,

observamos que na turma 1, 36,8% (7) responderam corretamente, enquanto que na turma 2, 23% (3) responderam corretamente.

Questão 7: *Um objeto em movimento recebe a ação de uma força de intensidade 50 N na mesma direção e sentido do movimento. Neste momento, a intensidade da força de atrito também é de 50 N. O que ocorre com a velocidade deste objeto? Como você explica isto?*

O objetivo da questão foi promover uma reflexão sobre a tendência que um corpo tem de se manter em movimento quando a força resultante for nula. Esperávamos uma resposta citando que a velocidade se mantém constante, pois a força resultante é nula.

Na turma 1, 80% (16) deram respostas corretas e semelhantes a do estudante 6, que escreveu: *“Permanece constante, porque a força resultante é zero”*, 5% (1) afirmou que a velocidade diminui porque não há força resultante, 5% (1) afirmou que o objeto irá ficar parado e 10% (2) não responderam a questão.

Na turma 2, 53,3% (8) responderam corretamente, como o estudante 1, que escreveu: *“Ela irá permanecer constante, porque a força resultante será zero”*, 20% (3) responderam incorretamente, como o estudante 23, que escreveu: *“Ela diminuirá para 0 N, pois quando a força aplicada e atrito são iguais o corpo entra em repouso”* e 26,7% (4) não responderam a questão. Considerando apenas os estudantes que responderam a questão, na turma 1, 88,8% (16) acertaram a questão, enquanto que na turma 2, 72,7% (8) acertaram a questão.

Aparentemente, percebe-se que a maioria dos estudantes que responderam as questões assimilaram os conceitos discutidos sobre primeira lei de Newton, no que dizem respeito ao corpo ter uma tendência natural de se manter em movimento se já estiver em movimento, ou em repouso se já estiver em repouso. No entanto, a turma 1 obteve melhores resultados.

Ao final da atividade, foi perguntado quais as dificuldades. Na turma 1, 25% (5) responderam que tiveram dificuldades de interpretar as questões ou entender os enunciados. Já na turma 2, 26,6% (4) responderam que tiveram dificuldades de lembrar o que foi falado em sala, responder, compreensão das questões e lembrar da matéria. Algumas questões devem ser lidas mais de uma vez para a compreensão, e alguns estudantes lêem apenas uma vez e dizem que não entenderam. Há ainda a resistência das concepções espontâneas, que para alguns estudantes são fortemente incorporadas a estrutura cognitiva (ZYLBERSZTAJN, 1983).

Neste mesmo dia, foi iniciado o estudo sobre a segunda lei de Newton.

7.3 Estudo da segunda lei de Newton

7.3.1 Atividade com simulação para discutir segunda lei de Newton na turma 2

Na sequência da aula, os estudantes da turma 2 realizaram uma atividade (Apêndice H) com simulação para investigar as grandezas relacionadas à segunda lei de Newton. Após as instruções iniciais dadas pelo professor (como sugere a TCC), os estudantes foram até a sala da informática para a realização da atividade. Fazendo uma análise das atividades realizadas pelos estudantes, verificamos que a primeira parte, no qual os estudantes trabalharam com a simulação sem atrito foi bem sucedida por todos os estudantes, de fácil realização e com resultados esperados. Neste dia, 14 estudantes estavam presentes. A turma foi dividida em 4 grupos com 3 ou 4 estudantes e cada grupo utilizou um computador.

Nas “questões” 1 e 2 deste roteiro estavam apenas as instruções iniciais para a utilização inicial da simulação. Na questão 3, foi solicitado a aplicação de forças de 50 N, 100 N e 150 N em um mesmo caixote. Os estudantes puderam observar que quanto maior a força aplicada, mais rápido sua velocidade aumenta. Com um cronômetro do celular os estudantes mediram um tempo, e com valores de velocidade inicial e final, determinaram o valor da aceleração do caixote, completando a tabela seguinte.

Tabela 7 – Tabela da questão 3 da atividade com simulação sobre segunda lei de Newton

M assa (kg)	Vel ocidade inicial (m/s)	Vel ocidade final (m/s)	In tervalo de tempo (s)	A celeração (m/s ²)	Força aplicada (N)
					50 N
					100 N
					150 N

Fonte: O autor.

Multiplicando o valor da massa do objeto empurrado pelo valor da aceleração, os estudantes encontraram um valor muito próximo do valor da força aplicada, como esperávamos. Nesta primeira atividade, após o preenchimento da tabela foi perguntado questão 4 “*Qual é a relação que você pode verificar entre a força aplicada e a aceleração do carrinho quando a massa é mantida constante?*”.

O objetivo da questão foi promover uma reflexão sobre a relação entre a força aplicada e a aceleração do carrinho quando a massa é mantida constante. Era esperado como resposta que os estudantes escrevessem que quanto maior a força aplicada, maior é o valor da aceleração. Foi observado que dois grupos relacionaram força aplicada com velocidade, mesmo a pergunta se referindo a força aplicada e aceleração. Um exemplo de resposta que relaciona força e velocidade é: “*Quanto maior a força aplicada, maior será a velocidade*”. Um grupo respondeu corretamente afirmando que quanto maior a força aplicada, maior é a aceleração. Um grupo respondeu: “*A massa e a força aplicada são iguais*”. Este grupo não refletiu sobre os valores da tabela.

A segunda tabela, referente à questão 5 foi preenchida mantendo a força aplicada constante e variando a massa. Os estudantes puderam observar que quanto maior a massa do objeto que está sendo empurrado, mais devagar sua velocidade aumenta. Os estudantes determinaram o valor da aceleração da mesma forma que feita anteriormente, após o preenchimento da tabela seguinte.

Tabela 8 - Tabela da questão 5 da atividade com simulação sobre segunda lei de Newton

Ma ssa (kg)	V elocidad e inicial (m/s)	V elocida de final (m/s)	I ntervalo de tempo (s)	Ac eleração (m/s ²)	Força aplicada (N)
50 kg					
100 kg					
150 kg					

Fonte: O autor.

Neste caso, fazendo o produto da massa pela aceleração, os estudantes puderam observar novamente um valor muito próximo do

valor da força aplicada na simulação. Foi questionado após a tabela na questão 6 “*Qual é a relação que você pode verificar entre a massa do caixote e a aceleração do carrinho quando a força aplicada é mantida constante?*”.

Semelhante à atividade anterior, o objetivo foi promover uma reflexão sobre a relação inversamente proporcional entre massa e aceleração. Era esperado que os estudantes respondessem que quanto maior a massa do carrinho, menor é o valor da aceleração. Observamos que dois grupos relacionaram corretamente massa com aceleração, escrevendo: “*Quanto maior a massa, menor a aceleração*”. Um grupo relacionou massa com a velocidade, escrevendo: “*Quanto mais massa, menor a velocidade*” e um grupo deu respostas sem sentido para a pergunta, escrevendo: “*Foi acelerando devagar*”. Respostas como esta, mostram que as questões ou os conceitos não foram compreendidos e discutidos pelos estudantes.

Na questão 7 é perguntado qual a relação matemática entre força aplicada, massa e aceleração. O objetivo da questão é fazer o estudante refletir sobre os valores de força aplicada, massa e aceleração e chegar a conclusão que o produto da massa pela aceleração corresponde ao valor da força aplicada. Antes de responder a questão, foi feita uma discussão dos resultados encontrados até o momento. Foi comentado pelo professor que buscaríamos encontrar alguma relação matemática entre os valores da tabela. Instruídos pelo professor, os estudantes comentaram que quanto maior a força aplicada, maior seria aceleração do carrinho. Quanto maior a massa do carrinho, menor seria a aceleração do carrinho.

O professor comentou então que existe uma relação entre a força aplicada, a massa e a aceleração. Quando os estudantes foram questionados sobre a relação matemática entre estes três valores, como esperado ninguém conseguiu responder. Estudos como Leal et al. (2015) apontam esta dificuldade sem o auxílio do professor.

Para exemplificar o que era para ser relacionado, o professor escreveu no quadro três números aleatórios: 15, 3 e 5 e perguntou qual é a relação que pode ser estabelecida por estes três números. As respostas foram: todos são ímpares, o 15 pode ser dividido por 3 e por 5, 3 vezes 5 dá 15, 15 dividido por 3 dá 5. Foi uma tarefa um pouco difícil de ser realizada. Em seguida voltamos aos valores da tabela. Foi pedido aos estudantes para analisarem os valores da força, da massa e da aceleração e encontrar uma relação entre os três números. Após algum tempo, os estudantes comentaram que o valor da força é igual ao valor da massa vezes o valor da aceleração, ou ainda que o valor da aceleração é igual à

força dividido pela massa. Após os estudantes comentarem isso, foi escrito no quadro a relação da segunda lei de Newton ($F = m \cdot a$). Foi comentado pelo professor que a segunda lei de Newton pode ser descrita matematicamente por esta relação. Foi comentado ainda que esta relação é válida quando há somente uma força aplicada, e na sequência iríamos analisar qual a relação que pode ser estabelecida quando houver força de atrito atuando. Para isso, deveríamos realizar as próximas tarefas.

Após a discussão feita em sala, 71,4% (10) escreveram que a massa vezes a aceleração corresponde ao valor da força aplicada ou ainda que a força aplicada dividida pela aceleração dá o valor da massa, 14,3% (2) responderam sem sentido com a pergunta, como do estudante 26, que escreveu: *“Quando a massa é mantida e a força aplicada varia, a velocidade final aumenta. E quando a massa varia e a força aplicada é mantida a velocidade final diminui”* e 14,3% (2) não responderam a questão.

A segunda parte da atividade com simulação foi iniciada num dia seguinte. Os estudantes realizaram uma tarefa semelhante à anterior, mas num plano horizontal com atrito. Os estudantes tiveram muita dificuldade para obter os dados necessários para o preenchimento das tabelas mostradas a seguir. Somente 4 computadores funcionaram, então a divisão de grupos se deu como na aula anterior.

A “questão” 8 fornecia as instruções iniciais para a continuidade da atividade. Na questão 9 foi solicitado aos estudantes para manterem a força resultante constante e variar a massa, e ao fazer a manipulação da simulação, dados necessários eram anotados na seguinte tabela. O objetivo do preenchimento da tabela é a coleta de dados para as reflexões sobre as grandezas envolvidas na segunda lei de Newton.

Tabela 9 - Tabela da questão 9 da atividade com simulação sobre segunda lei de Newton

M	V	V	I	A	F	F	F
massa (kg)	velocidade inicial (m/s)	velocidade final (m/s)	intervalo de tempo (s)	aceleração (m/s ²)	força aplicada (N)	força de atrito (N)	força resultante (N)
50 kg							
100 kg							
150 kg							

Fonte: O autor.

Duas equipes conseguiram fazer as atividades com poucas dificuldades, e duas equipes não tiveram uma aula produtiva, chegando ao final da aula sem ter a tabela preenchida corretamente. As dificuldades podem ter sido reflexo da falta de atenção quando o professor estava explicando o que era pra ser feito, dificuldades de realizar os procedimentos na ordem correta e por falta de leitura na hora de realizar a atividade. Um possível indicativo para a falta de leitura estava no fato de que as respostas para as perguntas estavam no roteiro. Como prevê ainda a TCC, uma grande quantidade de informações pode elevar a carga cognitiva da atividade e os estudantes não conseguem processar todas as informações necessárias. Deste modo, a atividade não é realizada com sucesso.

Na aula seguinte (terceiro dia de realização da atividade), muitos estudantes faltaram. Devido a um problema familiar com um dos estudantes da turma, somente 8 estudantes compareceram.

Na questão 10, os estudantes responderam com base no preenchimento da tabela, qual a relação que pode ser verificada entre a massa do caixote e a aceleração do carrinho, fazendo uma relação com as questões respondidas anteriormente e com a tabela da questão 5.

Os objetivos eram semelhantes aos anteriores, pois visavam a reflexão sobre a relação entre as grandezas massa, aceleração e neste caso, força resultante. Para esta pergunta, 100% (8) responderam a questão, escrevendo corretamente a relação esperada, que quanto maior a massa, menor é o valor da aceleração, ou que o produto da massa pela aceleração é o valor da força resultante.

A “questão” 11 fornecia as instruções iniciais para a sequência da atividade. Na questão 12, os estudantes preencheram uma tabela fazendo as manipulações na simulação e obtendo valores de grandezas solicitadas, com o objetivo de analisar a relação entre a força resultante e a aceleração mantendo-se a massa constante. A tabela 10 mostra as grandezas determinadas.

Tabela 10 - Tabela da questão 12 da atividade com simulação sobre segunda lei de Newton

	V	V		A	F		F
massa (kg)	velocidade inicial (m/s)	velocidade final (m/s)	intervalo de tempo (s)	aceleração (m/s ²)	força aplicada (N)	força de atrito (N)	força resultante (N)
0 kg					15 0 N		
0 kg					20 0 N		
0 kg					25 0 N		

Fonte: O autor.

Após o preenchimento da tabela, os estudantes responderam a questão 13 “Pode-se verificar que a aceleração aumentou quando aumentamos a força aplicada. Agora pense e responda: a aceleração é proporcional à força aplicada ou à força resultante?”.

O objetivo da questão foi estimular o estudante à comparar o valor da aceleração com os valores de força aplicada e força resultante e perceber que a aceleração é proporcional à força resultante. Foi observado que um grupo respondeu que dependia da força resultante e um grupo respondeu que dependia da força aplicada.

Pode-se concluir que um dos problemas da atividade realizada em grupo é a falta de autonomia de alguns estudantes. Por exemplo, nesta pergunta, os estudantes puderam observar que o produto da massa pela aceleração correspondia ao valor da força resultante, não da força aplicada, mesmo assim, 4 estudantes de uma mesma equipe responderam incorretamente, como já havia acontecido com esta mesma equipe ao relacionar força com velocidade. É possível que um estudante tenha respondido (incorretamente) e os outros tenham copiado sem ao menos fazer uma verificação ou discussão com a equipe. Este é um dos obstáculos do efeito da memória de trabalho coletiva.

Na questão 14, “Qual a relação que podemos obter entre a força resultante, a massa e a aceleração?” tínhamos como objetivo promover novamente a reflexão sobre os valores das grandezas citadas. Observamos que 87,5% (7) responderam corretamente, ao escrever que a massa vezes a aceleração é igual a força resultante. Um estudante deu uma resposta incompleta, ao escrever: “Força resultante é igual ao

produto da massa” (estudante 14). É provável que o estudante não tenha terminado a frase.

A questão 15 solicitou uma comparação entre os resultados encontrados na questão anterior com os resultados das questões 6 e 7.

Na questão 16 “No simulador, há um objeto (uma caixa) que não é informado sua massa. Usem a relação discutida para calcular a massa da mesma, após escolher uma força aplicada e calcular a aceleração do carrinho.” tínhamos como objetivo aplicar a relação estabelecida anteriormente para a determinação de uma grandeza desconhecida (a massa). Os estudantes determinaram a massa desconhecida utilizando o valor da força aplicada e da aceleração (calculada como anteriormente, com a velocidade final, velocidade inicial e intervalo de tempo). Para esta atividade, 100% (8) realizaram os cálculos corretamente.

Para finalizar a atividade com simulação, os estudantes deveriam determinar o coeficiente de atrito estático e dinâmico de três objetos, mas acabamos fazendo para apenas 2 objetos. Após a escolha do objeto, foi aplicado no mesmo uma força até o momento que ele começou a se mover. Observando o valor da força de atrito estática máxima, força de atrito dinâmica e calculando o valor da força normal, os estudantes aplicaram estes valores nas fórmulas da força de atrito estática e cinética, e determinaram os valores solicitados.

Em relação às dificuldades encontradas, somente o estudante 20 escreveu que teve dificuldades em saber as acelerações.

7.3.2 Atividades sobre segunda lei de Newton

Após o término da atividade com simulação, a turma 2 deu início a um questionário onde deveriam responder 8 questões utilizando os conceitos de aceleração, força resultante e massa. A turma 1 participou de uma discussão com imagens estáticas retiradas da simulação para discutir a relação entre força, massa e aceleração. A relação matemática que envolve estas três grandezas foi escrita no quadro após as discussões de proporcionalidade e em seguida, já foi dado início aos problemas sobre segunda lei de Newton. As 3 primeiras questões foram respondidas pelo professor no quadro como exemplos em ambas as turmas (efeito do exemplo trabalhado). As discussões foram muito semelhantes.

Questão 1: *Uma força horizontal, de intensidade 6 N, com sentido para leste age sobre uma mesa de massa 12 kg. Desprezando a força de atrito, determine o valor da aceleração da mesa.*

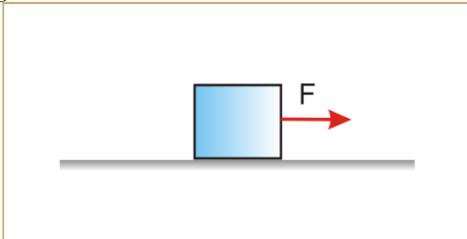
Fazendo as substituições devidas na equação $F = m \cdot a$, calculamos o valor da aceleração do objeto. Os estudantes não mostraram dificuldades para acompanhar a resolução.

Questão 2: *Dois forças horizontais, de módulos $F_1 = 20 \text{ N}$ e $F_2 = 45 \text{ N}$, agem ao mesmo tempo sobre uma mesa de massa 5 kg .*

- Faça um esquema representando a situação.*
- Se as duas forças têm mesma direção e sentido para leste, qual é o valor, a direção e o sentido da aceleração? Dica: Antes de aplicar a segunda lei de Newton, calcule a força resultante.*
- Se a força F_1 tem sentido para o leste e a força F_2 para oeste, qual é o valor, a direção e o sentido da aceleração?*

Durante a resolução foi notado que o item (a) deveria ser realizado duas vezes, para que fosse possível aplicar forças no mesmo sentido e forças em sentidos opostos. Desta maneira, o item (a) foi realizado dentro do item (b). Nesta questão, os estudantes deveriam determinar primeiro a força resultante para em seguida determinar o valor da aceleração. A questão foi pensada desta maneira para que os estudantes entendam que o efeito da aceleração é causado pela força resultante, não apenas pela força aplicada. Foi determinado a aceleração do objeto quando as duas forças apontam no mesmo sentido e em sentidos opostos. Em cada caso foi desenhado o diagrama de forças para facilitar a determinação da força resultante.

Questão 3: *O bloco da figura tem massa igual a 10 kg e repousa sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco e a superfície são, respectivamente $0,4$ e $0,3$. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$.*



Aplica-se ao bloco uma força motriz F . Determine a aceleração do bloco se intensidade da força F for:

- 10 N*
- 50 N*
- 70 N*

Na terceira questão envolvia a força aplicada e a força de atrito, então foi discutido novamente a situação de força resultante. Através de um debate, chegou-se à conclusão que o objeto somente se move se a força aplicada for maior que a força de atrito. Desta forma, deve-se primeiro determinar qual o valor da força de atrito estática máxima. Fazendo os cálculos, foi concluído que para uma força igual ou inferior a 40 N a aceleração do objeto seria zero. No item b, a força aplicada corresponde a 50 N, então o objeto se move. Fazendo os cálculos, determinamos o valor da força de atrito, da força resultante e da aceleração do objeto. Os estudantes não demonstraram dificuldades para acompanhar os cálculos.

Em seguida foi pedido aos estudantes para darem continuidade a lista de 8 exercícios. Durante a realização das atividades o professor estava acompanhando de carteira em carteira para verificar eventuais dúvidas (efeito de enfraquecimento de orientação), mas foram poucas as dúvidas apresentadas pelos estudantes. Alguns estudantes mostraram dificuldades de interpretação dos problemas e outros mostraram dificuldades de resolução de equações. Como os estudantes não terminaram as atividades, foi pedido para que terminassem em casa. Na turma 1, todos os 20 estudantes fizeram as atividades. Na turma 2 somente 11 estudantes compareceram no dia.

Na tabela 11 é apresentado o percentual de acertos dos estudantes nas questões 4 a 8.

Tabela 11 – Relação de acertos/erros das atividades teóricas envolvendo a segunda lei de Newton.

Questão	Turma 1	Turma 2
4	95% correto	90,9% correto
	5% incorreto	9,1% incorreto
5	80% correto	90,9% correto
	20% incorreto	9,1% incorreto
6	85% correto	90,9% correto
	15% incorreto	9,1% incorreto
7	85% correto	90,9% correto
	15% incorreto	9,1% incorreto
8	35% correto	72,7% correto
	65% incorreto	27,3% incorreto

Fonte: O autor.

Foi observado que os percentuais de acertos/erros foram bem parecidos em ambas as turmas, com exceção da questão 8, no qual a turma 2 mostrou melhor desempenho. É possível inferir que a turma 2 obteve melhor desempenho pelo fato de se tratar de uma questão que envolvia a relação entre força de atrito e movimento ou repouso de um bloco, ao receber força. Como a turma 2 realizou as atividades com simulação, puderam observar que o valor da força de atrito pode variar conforme a força aplicada aumenta. A simulação permitiu ainda a visualização de que, com uma força aplicada maior que a força de atrito estática máxima, o bloco entra em movimento, e a força de atrito diminui. Como os estudantes precisavam destas conclusões, este pode ser o motivo de os estudantes da turma 2 terem melhor desempenho. A seguir será feita uma discussão um pouco mais detalhada das questões 4 a 8.

Questão 4: *Forças de 30 N são aplicadas, separadamente, em dois objetos diferentes, A e B, que passam a ter acelerações iguais a 5 m/s² e 6 m/s², respectivamente.*

a) *Qual deles possui maior massa?*

b) *Faça os cálculos e comprove sua previsão.*

Em relação à questão 4, na turma 1, 95% (19) acertaram a questão sem dificuldades e 5% (1) não respondeu a questão. Na turma 2, 90,9% (10) acertaram a questão sem dificuldades. Um estudante (9,1%) não conseguiu resolver a equação para determinar o valor da massa. Em vez de passar o valor da aceleração dividindo pela força resultante, ele passou multiplicando.

Questão 5: *O quadro a seguir fornece os valores da força aplicada sobre uma caixa, a partir do repouso, e da aceleração obtida.*

Tabela 12 - Tabela da questão 5 das atividades sobre segunda lei de Newton

F orça (N)	2	4	2	20
A celeraçã o (m/s ²)	, 5	, 0	5, 0	5, 0

Fonte: O autor.

Qual é o valor da massa do carrinho?

Na turma 1, 80% (16) acertaram a questão e 20% (4) não conseguiram respondê-la. Na turma 2, ocorreu o mesmo que na questão 4, 90,9% (10) acertaram a questão e um estudante (9,1%) não soube resolver corretamente a equação.

Questão 6: *Um carrinho varia sua velocidade, de 3 m/s até 6,6 m/s em um intervalo de tempo de 3 s. Sendo sua massa de 2 kg, determine o valor da força aplicada que produziu essa variação. Dica: Calcule primeiramente a aceleração do carrinho usando a equação:*

$$a = \frac{v-v_0}{t}$$

Questão 7: *Um veículo de massa 900 kg, acelera e varia sua velocidade de 0 a 72 km/h em 5 s. Nestas condições, determine:*

- a) *A aceleração do carro.*
- b) *A força resultante atuando no carro.*

Em relação às questões 6 e 7, na turma 1, 85% (17) acertaram as questões, enquanto que na turma 2, 90,9% (10) acertaram e um estudante (9,1%) não as fez.

Questão 8: *Um bloco de 5 kg está apoiado sobre uma superfície horizontal e em repouso. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco e a superfície são, respectivamente 0,5 e 0,3. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$. Calcule a aceleração deste bloco caso ele seja puxado horizontalmente por uma força de intensidade*

- a) *15 N.*
- b) *50 N.*

Na turma 1, 35% (7) responderam a questão corretamente, 10% (2) responderam de forma incorreta e 55% (11) não responderam a questão ou deixaram incompleta. Na turma 2, 72,7% (8) acertaram a questão e 27,3% (3) dos presentes no dia não responderam. Como muitos estudantes não terminaram as questões na aula, eles levaram para casa para terminar.

Na turma 1, 15% (3) citaram as dificuldades encontradas, sendo dificuldade de interpretar os problemas (estudantes 7 e 8) e dificuldade de lembrar como resolver os problemas (estudante 17). Na turma 2, 45,6% (5) citaram seus erros, sendo dificuldades de montar as contas (estudantes 3 e 4), dificuldades de descobrir a força resultante (estudante 14), dificuldade de compreensão da questão 7 (estudante 23) e dificuldade de compreensão dos enunciados (estudante 26).

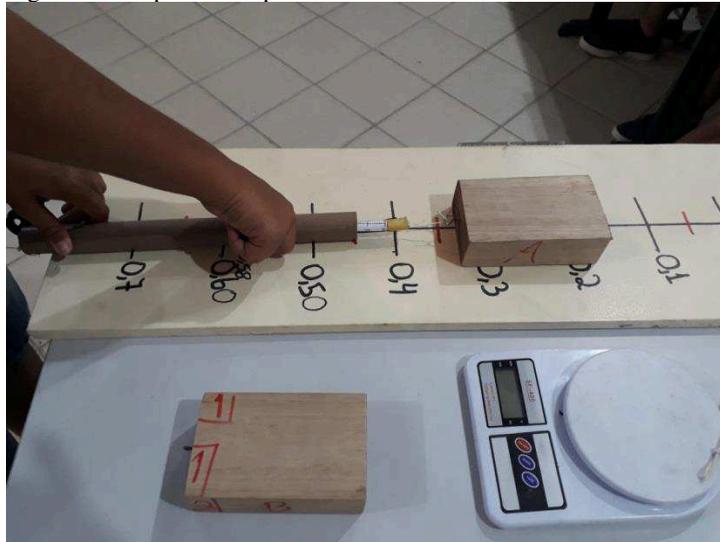
7.3.3 Atividade experimental no plano horizontal com atrito

As turmas foram divididas em equipes de aproximadamente 4 estudantes, e estes tinham como objetivo na atividade experimental, determinar os coeficientes de atrito estático e dinâmico entre um bloco de madeira e uma superfície de madeira pintada, em seguida discutir de

quais fatores a força de atrito depende. Os estudantes seguiram um roteiro de atividades (Apêndice J).

As medidas da força de atrito estática foram obtidas de modo direto com o uso do dinamômetro. Cada equipe, uma por vez foi até a mesa do professor, usou o dinamômetro para puxar o bloquinho e verificou o valor da força máxima aplicada. Esta medida foi feita com o bloco apoiado em duas áreas distintas para verificar se o coeficiente de atrito depende da área de contato. O valor da massa do bloquinho foi fornecido aos estudantes. Todos os estudantes das duas turmas conseguiram realizar os cálculos corretamente. A figura 13 mostra como o experimento foi realizado.

Figura 13 - Experimento para determinar o coeficiente de atrito estático



Fonte: O autor.

Na questão 1 foi solicitado o cálculo das áreas das faces dos blocos. Na questão 2, foi solicitado que os estudantes puxassem o bloco com o dinamômetro para verificar o valor da força de atrito estática máxima. Na questão 3, foi solicitado o mesmo procedimento, mas com a menor área. Após a determinação da força de atrito estática e cálculo do coeficiente de atrito estático, observamos que os valores são muito parecidos por todas as equipes das duas turmas.

Na turma 1, os valores encontrados para o coeficiente de atrito estático com o bloco deitado em sua maior (questão 2) área foram: 0,575

(27,8% da turma), 0,62 (33,3% da turma), 0,6 (22,2% da turma) e 0,62 (16,7% da turma). Já na turma 2, os valores encontrados foram: 0,58 (41,2% da turma), 0,62 (23,5% da turma) e 0,67 (35,3% da turma).

Para o bloco deitado em sua menor área, os valores do coeficiente de atrito encontrados na turma 1 foram: 0,6 (44,4% da turma), 0,65 (16,7% da turma), 0,63 (16,7% da turma) e 0,68 (22,2% da turma). Na turma 2, os valores encontrados foram: 0,55 (35,3% da turma), 0,6 (23,5% da turma) e 0,67 (41,2% da turma).

A questão 4 não foi realizada pois a terceira face do bloco estava muito áspera pela maneira que a madeira foi cortada.

Em ambas as turmas, os estudantes encontraram valores diferentes para as duas faces, como por exemplo o estudante 1 da turma 1, que encontrou como valores 0,57 e 0,60 para o coeficiente de atrito estático para o bloco deitado em sua área maior e sua área menor respectivamente.

Após os estudantes calcularem os coeficientes de atrito, foi perguntado na questão 5 “*Houve diferença nos coeficientes de atrito calculados anteriormente? Justifique sua resposta.*” Na turma 1, 22,2% (4) justificaram, afirmando que é diferente devido à área de contato, como o estudante 25, que escreveu: “*Sim, porque a área é menor, tornando o atrito também menor*”. Nesta turma (1), 44,4% (8) afirmaram apenas que é diferente, mas não justificaram porquê. Já na turma 2, 47% (8) afirmaram que é diferente devido à superfície, mas não disseram o que é diferente, se é a área ou aspereza. Um exemplo de resposta é do estudante 1, que escreveu: “*Sim, porque a superfície do bloco era diferente*”. É possível que estes estudantes tenham associado o experimento com a atividade com simulação, na parte que foi discutido o papel da superfície no valor da força de atrito. Outros 53% (9) disseram apenas que houve diferença, mas não justificaram porquê.

Na sequência, os estudantes determinaram os coeficientes de atrito dinâmico para o mesmo bloco. As “questões” 6 e 7 forneciam as instruções para a realização da atividade. A figura 14 representa como a atividade foi realizada.

Figura 14 - Atividade experimental num plano horizontal com atrito



Fonte: O autor.

A superfície de cima da mesa possuía diversas marcações que indicavam a posição do bloco. Fazendo a filmagem do movimento, os estudantes obtiveram na sua análise com o aplicativo *Kinemaster*, as posições inicial e final do bloco, assim como o intervalo de tempo. Com estes dados, foi determinada a aceleração do mesmo. Outras grandezas como tensão na corda e força de atrito também foram determinadas, para em seguida, fazer a determinação dos coeficientes de atrito dinâmico para o bloco deitado em duas faces de tamanhos diferentes.

Na tabela 13 é apresentado o percentual de estudantes que realizaram os cálculos das atividades experimentais envolvendo as atividades da segunda lei de Newton. Na sequência as questões são discutidas detalhadamente.

Tabela 13 – Comparação sobre a realização de alguns cálculos sobre as atividades experimentais sobre 2ª lei de Newton

Realização dos cálculos para a determinação do coeficiente de atrito dinâmico	Turma 1		Turma 2	
	realizou corretamente	61,1%		realizou corretamente
	38,9%	não realizou	11,8%	não realizou

Fonte: O autor.

Na questão 8 foi solicitado aos estudantes determinarem o coeficiente de atrito dinâmico para o bloco deitado na sua maior área. Novamente os valores encontrados foram bem parecidos. Somente duas equipes fizeram os cálculos, encontrando como valores: 0,6 (38,9% da turma presente no dia) e 0,5 (22,2% da turma). Outros 38,9% (7) não fizeram os cálculos. Como não foram feitas entrevistas, não é possível saber se não foi feito por dificuldades ou por falta de comprometimento. Na turma 2, os valores encontrados foram: 0,5 (5,9% da turma), 0,53 (29,3%), 0,66 (41,2%) e 0,68 (11,8%). Outros 11,8% (2) não realizaram os cálculos.

Na questão 9, com o bloco deitado em sua menor área, os valores encontrados foram: 0,5 (38,9% da turma) e 0,47 (22,2% da turma). Novamente 38,9% da turma 1 não realizou os cálculos solicitados. Na turma 2, os valores encontrados foram: 0,58 (41,2%), 0,6 (11,8%), 0,72 (5,9%) e 0,88 (29,3%). Nesta turma 11,8% não realizou os cálculos. Observa-se que os valores encontrados na área menor são levemente menores.

Ao final dos cálculos foi perguntado na questão 10 “*Qual a conclusão você pode chegar a respeito do coeficiente de atrito dinâmico e a área de contato do bloco com o plano?*”. Na turma 1, 33,3% (6) concluíram que a área de contato influencia no valor do coeficiente de atrito. Destes 6 estudantes, 4 já haviam feito esta mesma afirmação para o coeficiente de atrito estático. Um exemplo de resposta que mostra esta afirmação é do estudante 10, que escreveu: “*Que com as duas análises os resultados são parecidos, mas notei que com menor área de contato os resultados são mais baixos*”. Outros 17,7% (3) escreveram que os valores foram um pouco diferentes, mas não justificaram porque. Metade da turma (50%) não respondeu a pergunta.

Na turma 2, 52,9% (9) responderam que a área de contato influencia no valor do coeficiente de atrito, como o estudante 14 que escreveu “*Que área grande tem mais atrito*”, 11,8% (2) responderam sem sentido com a pergunta, escrevendo: “*Que o coeficiente de atrito é menor*” e 5,8% (1) chegou a conclusão que a diferença é tão pequena que o valor da área não influencia no valor do coeficiente de atrito, escrevendo que: “*A área pode variar, mas o coeficiente irá variar pouco. Força de atrito não depende da área de contato*” (estudante 23). Como é mostrado pela literatura (Santos e Santos, 2018), muitos estudantes relacionam o aumento da área com o aumento do valor do atrito.

Diferentemente do que aconteceu quando os estudantes determinaram os coeficientes de atrito estático, nesta situação metade da turma afirmou que o coeficiente de atrito depende da área de contato. A pergunta (*Qual a conclusão você pode chegar a respeito do coeficiente de atrito dinâmico e a área de contato do bloco com o plano?*) como foi proposta pode ter influenciado na resposta, uma vez que ele tenha induzido o estudante a observar que os valores de coeficientes de atrito são diferentes e as áreas de contato também são, dando a ideia de relação entre coeficiente de atrito e área. Podemos chegar a esta conclusão, pois na questão 4 (*Houve diferença nos coeficientes de atrito calculados anteriormente? Justifique sua resposta.*), também foi perguntado se houve diferença, mas não foi citado nenhuma relação com a área e nenhum estudante da turma 2 colocou que o coeficiente de atrito depende da área.

Nas duas turmas foi feito a discussão dos resultados encontrados ao final do experimento. Foram escritos no quadro os valores calculados por duas equipes distintas. Neste momento as falas ficaram mais por conta do professor, que argumentou que os valores encontrados para o coeficiente de atrito calculados por todos os estudantes eram muito parecidos, diferenciando em apenas alguns décimos ou centésimos, enquanto que os valores das áreas de contato eram muito diferentes. Como as áreas eram muito diferentes e os coeficientes muito próximos, não é possível concluir que o coeficiente de atrito depende da área de contato. Foi comentado ainda que já havíamos discutido anteriormente que a força de atrito depende de dois fatores, que são o coeficiente de atrito e a força normal, então a força de atrito não depende da área de contato. Os estudantes não demonstraram discordar das falas do professor, apenas acompanharam com atenção. Para justificar as diferenças, o professor comentou que poderia haver diferença para o coeficiente de atrito para diferentes posições da madeira que apoia o bloco, ou ainda, que a forma com que o dinamômetro é puxado pode influenciar no valor inferido para a força de atrito estática máxima.

Um aspecto importante a ser destacado sobre este experimento é a dificuldade de realização, uma vez que os estudantes têm dificuldades de fazerem a leitura no dinamômetro quando ele está sendo puxado e o valor indicado vai variando. É possível ainda que a forma com que ele seja puxado e as alterações nas superfícies do bloco interfiram no valor da força de atrito estático máxima. Na determinação do coeficiente de atrito dinâmico, alguns estudantes tiveram dificuldades com o uso do aplicativo *Kinemaster* para a determinação do tempo de deslocamento. Se a câmera do celular não for boa o suficiente, o estudante não saberá

com precisão o instante que o bloco para pela posição final. Outro problema relacionado ao aplicativo está na falta de internet se o celular tiver o sistema operacional IOS. Alguns estudantes não conseguiram utilizar o aplicativo pela falta de internet. Os diversos cálculos que os estudantes devem realizar também é um fator que influencia negativamente no experimento. O trabalho de Santos e Santos (2018) também aborda as dificuldades de medida de força de atrito cinética e dinâmica.

Entretanto, mesmo com algumas dificuldades, podemos concluir que é uma atividade que pode ser bem sucedida, pois podem ser discutidos diversos conceitos relacionados aos princípios da dinâmica, como força peso, normal, força de atrito, segunda lei de Newton, entre outros, mas que precisa de bastante cuidado e uma discussão clara para mostrar ao estudante que o valor da área se modificou bastante, mas o valor do coeficiente de atrito variou muito pouco.

Ao final da atividade, os estudantes foram questionados sobre quais as dificuldades. Na turma 1, as respostas foram: Interpretar as questões; muitas fórmulas; entender o que é para calcular; interpretar o problema. Percebe-se que a grande quantidade de cálculos trouxe muita dificuldade aos estudantes. Devido a isso, 38,9% (7) da turma não resolveram os cálculos solicitados nas questões 8 e 9, não conseguindo conseqüentemente analisar se o coeficiente de atrito depende da área de contato. Os estudantes que até então estavam acostumados a fazer um ou dois cálculos se depararam nesta atividade com cerca de 5 cálculos para fazer na mesma questão, o que fez com que o estudante ficasse sem saber o que fazer.

Na turma 2, as dificuldades citadas pelos estudantes foram: montar as contas; não entender bem as contas; saber o coeficiente de atrito; calcular a 7 e a 8; contas complicadas; e compreensão da questão. Percebemos que as dificuldades são relacionadas à matemática, dificuldades de manipular e resolver equações, problema este que pode ser solucionado com ajuda de colegas e professor. Observamos que 29,3% (5) da turma não resolveram os cálculos para a determinação dos coeficientes de atrito dinâmico.

Comparando o nível de dificuldades das duas turmas, percebe-se que a turma 1 teve mais dificuldades, além de uma porcentagem maior da turma que não resolveu os cálculos para a determinação dos coeficientes de atrito dinâmico. Como a turma 2 já estava mais “acostumada” à resolver cálculos de aceleração, foi uma informação a menos para ser processada pelos estudantes. Além disso, os estudantes já haviam feito duas atividades semelhantes, uma com simulação para

discutir a relação entre força, massa e aceleração, assim como a determinação dos coeficientes de atrito estático e dinâmico, e a atividade experimental no plano sem atrito. Podemos concluir assim, que a atividade com simulação possa ter diminuído a dificuldade encontrada na atividade experimental, reduzindo a carga cognitiva presente, não diminuindo a quantidade de informações presentes, mas aumentando a quantidade de informações que os estudantes conseguem processar ao mesmo tempo, pois alguns cálculos, os estudantes da turma 2 já haviam feito muito mais vezes que os estudantes da turma 1.

7.3.4 Atividade experimental com plano horizontal sem atrito

Na sequência da aula, a turma 1 realizou a atividade experimental num plano horizontal supostamente sem atrito, utilizando o trilho de ar. Para a realização da atividade, os estudantes seguiram um roteiro (Apêndice K). A figura a seguir mostra como foi montado o experimento.

Figura 15 - Experimento do plano horizontal sem atrito



Fonte: O autor.

No roteiro, a “questão 1” mostrava como o experimento deveria ser montado. Na questão 2, foi solicitado aos estudantes o preenchimento de três tabelas, como a mostrada a seguir, com as posições e instantes para o movimento de três carrinhos de massas diferentes, sendo puxados por um mesmo peso.

Tabela 14 - Exemplo de tabela preenchida nas questões 2 e 7 com dados de deslocamento e intervalo de tempo da atividade do plano horizontal com atrito

S(m)	t(s)

Fonte: O autor.

O intervalo de tempo foi determinado através da análise da filmagem do movimento com o aplicativo *Kinemaster*. Os estudantes encontraram tempos maiores para carrinhos de massas maiores.

Na sequência, os estudantes determinaram a aceleração de cada carrinho como solicitado pela questão 3 e anotaram em uma outra tabela, na questão 4, contendo também a massa do carrinho, massa pendurada, massa total e força aplicada, que corresponde ao peso da massinha pendurada. Os valores de massa foram fornecidos pelo professor.

Tabela 15 - Dados da questão 4 da atividade experimental com plano horizontal

D esloca mento (m)	T empo (s)	A celeraç ão (m/s ²)	M assa do carrinho (kg)	Ma ssa pendurada (kg)	M assa total (kg)	F orça aplicad a (N)

Fonte: O autor.

Após o preenchimento da tabela, os estudantes deveriam responder a questão 5 “*A relação de proporcionalidade entre força, massa e aceleração é verificada neste experimento? Justifique sua resposta.*”. O objetivo da questão foi promover uma reflexão sobre os valores encontrados, para discutir se a segunda lei de Newton pode ser verificada nesta situação.

Todos os estudantes das duas turmas encontraram um valor menor do que o esperado multiplicando a massa pela aceleração. Um dos fatores que pode ter influenciado no resultado foi a força de atrito no fio de náilon que liga o carrinho a massa pendurada ao passar pela polia, que não girou, mas permitiu que o fio de náilon deslizesse sobre sua superfície, e o outro fator foi a força de atrito entre o carrinho e o trilho de ar. Estas conclusões foram discutidas com os estudantes somente no final da atividade experimental. Devido a isto, este experimento mostrou que se analisado e discutido qualitativamente ele pode mostrar que a aceleração é menor quando a massa do carrinho é maior, mantendo a força aplicada constante. Mas o estudante não conseguirá nesta situação verificar que o produto da massa pela aceleração, corresponde à força aplicada.

Na questão 6, foi perguntado o que deve acontecer com a aceleração do carrinho se aumentar a massa pendurada. Na turma 1, 11,8% (2) escreveram: “*A aceleração aumenta quando a massa pendurada aumenta*” e 88,2% (15) escreveram respostas semelhantes a do estudante 2: “*Se aumentar a força aplicada, deve aumentar a aceleração*”. Três estudantes faltaram no dia.

Na turma 2, 73,4% (11) escreveram que a aceleração aumenta, 13,3% (2) escreveram o contrário, afirmando que a aceleração diminui quando aumentamos a massa pendurada e 13,3% (2) não responderam a questão. Três estudantes faltaram neste dia. Os 2 estudantes que relacionaram força com velocidade na atividade com simulação, a fizeram novamente, escrevendo como resposta: “*A velocidade do carrinho aumenta*” (estudantes 1 e 12).

Percebe-se que mesmo após a discussão de alguns conceitos, algumas concepções espontâneas estão tão fortemente ligados ao cognitivo dos estudantes que são difíceis de serem modificadas (ZYLBERSZTAJN, 1983). Nas duas turmas, houve um percentual bem alto que respondeu corretamente que a aceleração aumenta conforme a força aplicada (peso pendurado) aumenta.

Na questão 7, os estudantes preencheram três tabelas (semelhantes à tabela 12) com os valores de posição e instante para o

movimento de um mesmo carrinho, sendo puxado por três massas distintas. Observou-se que quanto maior a massa pendurada, menor é o intervalo de tempo que o carrinho gasta para percorrer a mesma distância, consequentemente maior a aceleração. O intervalo de tempo foi determinado através da análise da filmagem do movimento com o aplicativo *Kinemaster*.

Na questão 8, os estudantes preencheram novamente uma tabela (semelhante à tabela 10), com os valores da aceleração calculada, massa do carrinho, massa pendurada, massa total e força aplicada. Novamente os valores de massa foram fornecidos pelo professor.

Na questão 9, foi perguntado se a hipótese descrita na questão 6 estava correta. Todos os estudantes das duas turmas responderam que sim, inclusive o estudante 23 da turma 2, que escreveu incorretamente na questão 6 e nesta questão escreveu: “*Sim, a força aplicada é igual a massa total vezes a aceleração*”.

Na questão 10, foi perguntado qual é a relação entre força aplicada e aceleração do carrinho. Na turma 1, 94,1% (16) escreveram que quanto maior a força aplicada, maior a aceleração. Já o estudante 16 (5,9%), escreveu: “*Quanto maior a força aplicada, maior a velocidade do carrinho*”. Este estudante também relacionou força com velocidade, como mostra a literatura (ZYLBERSZTAJN, 1983; NOGUEIRA et al., 2007). Três estudantes faltaram neste dia.

Na turma 2, 94,1% (16) também escreveram que a aceleração aumenta quando aumenta-se a força aplicada. Um estudante (5,9%) escreveu o contrário, que a aceleração diminui quando se aumenta a força aplicada, erro este causado provavelmente por falta de atenção, pois o estudante preencheu a tabela corretamente com os valores de massas e acelerações. Um estudante faltou no dia.

Na questão 11, novamente é perguntado se a relação entre força, massa e aceleração é verificada para os valores da tabela. Em ambas as turmas, os estudantes multiplicaram os valores de massa e aceleração correspondentes. Na turma 1, 100% (17) encontraram valores bem abaixo do esperado. Como exemplo, podemos citar o estudante 3, que ao fazer o produto da massa do sistema pela aceleração encontrou como resultados: 0,023 N; 0,027 N; e 0,076 N. Os valores que o estudante deveria ter encontrado eram: 0,03 N; 0,06 N; e 0,13 N. Novamente pode-se concluir que houve força de atrito entre o fio de náilon e a roldana e entre o carrinho e o trilho de ar.

Na turma 2, 82,3% (14) encontraram valores abaixo do esperado, como o estudante 3 da turma 1 citado anteriormente e 17,7% (3) fizeram os cálculos de intervalo de tempo incorretamente, o que resultou em um

valor maior de aceleração. Para estes estudantes, o produto da massa pela aceleração foi praticamente igual ao valor da força aplicada. O estudante 4 da turma 2 que fez os cálculos corretamente, justificou afirmando: “*Não, pois a força de atrito não é exatamente zero*”.

Na questão 12, os estudantes tinham como objetivo determinar o valor da massa de um carrinho que estava sobre o trilho sendo puxado por um objeto pendurado, conhecida sua massa. Os estudantes fizeram o experimento como nos casos anteriores, filmando o movimento, analisaram a filmagem para retirar os dados de posição e instante, calcularam a aceleração, para em seguida usar a equação da segunda lei de Newton para determinar a massa do carrinho. A tabela 16 faz uma comparação do percentual de realização desta atividade.

Tabela 16 - Comparação sobre a realização do cálculo da massa de um carrinho através da 2ª lei de Newton.

Realização dos cálculos para determinar a massa de um carrinho usando o trilho de ar	Turma 1	Turma 2
	50% realizou corretamente	100% realizou corretamente
	50% não realizou	

Fonte: O autor.

Na turma 1, três equipes conseguiram realizar os cálculos corretamente e duas equipes não conseguiram realizar os cálculos. As três equipes que calcularam os valores, encontraram como resposta para a massa do carrinho: 0,187 kg; 0,175 kg e 0,196 kg. No total, 50% (10) não chegaram a um resultado devido a dificuldades de realizar os cálculos solicitados. Os estudantes fizeram a substituição dos dados na equação, mas não souberam resolvê-la. O problema de resolução de equações é frequente para alguns estudantes das duas turmas. Os estudantes que conseguiram fazer os cálculos, encontraram valores maiores para o valor da massa do carrinho, isto por que devido ao atrito, a aceleração foi menor que a que seria encontrado em um caso sem atrito.

Na turma 2, foram formados 4 equipes e todas conseguiram realizar os cálculos. Os valores encontrados foram: 0,187 kg; 0,167 kg e 0,196 kg. Observa-se que os valores calculados são a grosso modo semelhantes. Isto indica a possibilidade de fontes de erros comuns aos estudantes.

Como pode-se observar, os estudantes encontraram um valor de massa maior do que o esperado, que era de 0,096 kg, isto quer dizer que

o valor da aceleração foi menor do que o esperado. Para que o valor da aceleração seja menor para todos os estudantes, pode-se concluir que houve atrito entre o carrinho e o trilho de ar, e entre o fio que liga o carrinho a massa pendurada e a roldana, uma vez que ela não rodou, apenas permitiu que o fio de náilon desliza-se sobre sua superfície.

Os estudantes encontraram valores diferentes entre si, pois é possível que ao analisarem o vídeo, eles não tenham tomado o devido cuidado para observar o momento exato que o carrinho parte da posição inicial e chega à posição final. Décimos de segundo podem fazer diferença no cálculo da aceleração, conseqüentemente no cálculo da massa do carrinho, ou ainda, é possível que os tempos medidos tenham sido diferentes por uma leve diferença na força de atrito em cada movimento do carrinho.

No final da atividade, ao serem questionados sobre as dificuldades encontradas, na turma 1, 20% (4) escreveram que tiveram dificuldades com as contas e fórmulas. Já na turma 2, 17,6% (3) escreveram suas dificuldades, que foram novamente as contas, calcular a aceleração e, entender e usar as fórmulas.

Observa-se que as maiores dificuldades encontradas nesta atividade experimental foram os cálculos que deveriam ser realizados. Na turma 1, 50% (10) iniciaram os cálculos para a determinação da massa do carrinho na última parte e não conseguiram terminar. Os estudantes da turma 2 não tiveram tantas dificuldades assim, conseguindo chegar mais facilmente ao final da atividade. O tempo necessário para a realização da atividade também foi maior na turma 1, assim como já havia sido na atividade experimental anterior. De modo geral, os estudantes da turma 1 tiveram mais dificuldades de acompanhar o roteiro, realizar corretamente a ordem dos procedimentos e cálculos solicitados. Estudos que investigam a combinação de simulação e experimentação (WINBERG e BERG, 2005; e SCHUHMACHER et al., 2005) mostram os estudantes que realizaram a atividade com simulação apresentaram melhor entendimento na atividade experimental, realizando menos perguntas sobre o que fazer.

7.4 Discussão sobre plano inclinado

Após a atividade experimental, foi dado início ao estudo do plano inclinado. A discussão inicial foi feita de maneira semelhante nas duas turmas. Começamos a discutir as forças que agem em um ciclista subindo e descendo um morro, e em um bloco sendo empurrado morro

acima ou morro abaixo. Foram representadas as forças (força peso, força normal e força de atrito) que agem no bloco em um plano inclinado. Foi comentado pelo professor que para facilitar o estudo das forças no plano inclinado, devemos imaginar o plano cartesiano com o eixo x paralelo ao plano e o eixo y perpendicular ao plano. Fazendo o desenho do plano cartesiano junto ao diagrama de forças, foi comentado que a força peso estava inclinada, desta forma devemos fazer a decomposição da força peso. Em seguida o professor mostrou as fórmulas para o seu cálculo.

Com a turma 1, foram desenhados no quadro 3 figuras de um bloco em um plano inclinado com inclinações de 30° , 45° e 60° e com o uso das fórmulas foram determinados os valores das componentes da força peso para o bloco. Com os resultados observamos que quanto maior a inclinação da rampa, maior é o valor da componente do peso que aponta para baixo no plano inclinado, justificando o fato de haver a necessidade de uma força maior para empurrar para cima um bloco em um plano com maior inclinação.

7.4.1 Atividade com simulação para discussão de plano inclinado na turma 2

A turma 2, participou de uma discussão semelhante sobre plano inclinado no início, mas quando analisamos as forças que atuam no corpo num plano inclinado, foi utilizado a simulação do PhET *Rampa: Forças e Movimento*. A figura 5 mostra a simulação utilizada.

Através da variação da inclinação do plano, foi discutido a intensidade das forças que agem no bloco. A simulação mostra a intensidade das forças através do tamanho da seta que a representa. Ao aumentar a inclinação, percebe-se a redução da intensidade da força normal. Em seguida foram discutidas as fórmulas para o seu cálculo e com seu uso foram determinados os valores das componentes da força peso para o bloco da simulação, para as inclinações de 30° , 45° e 60° . Com os resultados foi observado que quanto maior a inclinação da rampa, maior é o valor da componente do peso que aponta para baixo no plano inclinado, justificando o fato de haver a necessidade de uma força maior para empurrar para cima um bloco em um plano com maior inclinação.

Após esta discussão foram realizadas as atividades com a simulação propostas seguindo um roteiro (Apêndice L). Esta atividade foi feita de modo coletivo. A simulação foi projetada no quadro, o professor fez as manipulações solicitadas e os resultados foram discutidos, os cálculos foram feitos alguns no quadro com a participação

dos estudantes e outros eles fizeram sozinhos, com o auxílio do professor. Esta atividade não foi realizada na sala de informática pela impossibilidade de instalação do aplicativo Java nos computadores (para a instalação era necessário a senha de acesso aos computadores, que nenhum professor ou integrante da direção soube informar). Entretanto, a atividade proposta foi realizada com sucesso da maneira que foi conduzida.

Os estudantes estavam atentos e participativos durante toda a atividade. Não se mostraram cansados ou entediados. Como a atividade necessitava de muito cálculo, era provável que os estudantes teriam algumas dificuldades em realizá-los sem a ajuda do professor, como o estudante 23, que escreveu após o término da atividade que era difícil, justificando: *“Pois era complicado acompanhar o simulador, se fosse para fazer individual, eu não conseguiria”*.

Como as atividades foram realizadas em conjunto, todos os estudantes escreveram as mesmas respostas. Iniciamos fazendo uma revisão de alguns conceitos discutidos em aulas anteriores para um objeto num plano horizontal. Foi observado que quando um objeto recebe uma força horizontal, ele fica sujeito a uma força de atrito no sentido oposto.

Com os dados fornecidos pela simulação (massa e coeficiente de atrito estático), foi calculado o valor da força de atrito estática máxima para três objetos e verificado que aplicando uma força maior do que esta, o objeto entra em movimento. Foi lembrado ainda como se determina a força resultante atuando no objeto quando ele está em movimento. Fizemos isto para três objetos no plano horizontal.

Na sequência foi iniciado o estudo das forças que agem num caixote quando ele se encontra subindo um plano inclinado. Foram discutidas as forças que agem no bloco, assim como o valor da força resultante e da sua aceleração. Foi determinado ainda, os valores das componentes do peso para o bloco em repouso no plano inclinado, bem como o valor da força normal. Para finalizar a atividade com a simulação, foi aumentado o valor da inclinação da rampa com o bloco em repouso para se determinar o valor do coeficiente de atrito estático entre o caixote e o plano. Foi observado que o ângulo que deixa o caixote na eminência de movimento é 26° . Foram determinadas as componentes do peso, força normal e em seguida calculado o valor do coeficiente de atrito estático. Esta última atividade foi semelhante à atividade experimental.

Como a turma acompanhou bem a atividade, participando atentamente, é sugerido que esta atividade seja feita em conjunto como

foi feita devido ao seu alto grau de dificuldade, principalmente com os cálculos que foram realizados. Apenas o estudante 6 colocou como dificuldade acompanhar o que estava sendo feito, e este mesmo estudante afirmou que a atividade exigiu baixo esforço mental. Desta forma, conclui-se que uma das causas da dificuldade é a falta de concentração e esforço, ou mesmo falta de comprometimento do estudante.

7.4.2 Atividades envolvendo plano inclinado

Após a discussão e exemplos de cálculos de grandezas relacionadas ao plano inclinado, a turma 1 recebeu um questionário com três questões (Apêndice M). Como não foi possível terminar no dia que foi entregue, os estudantes deveriam ter terminado em casa. Muitos não responderam o questionário e não foi anotado quem realizou e quem não realizou. Na aula seguinte, foi feita a correção das questões, sendo que os que não haviam feito, fizeram a cópia do quadro. Desta maneira, não é possível saber se o que está escrito na folha é da própria autoria do estudante, ou se foi copiado do quadro durante a correção. A discussão dos resultados descrita a seguir levou em consideração o que está escrito como resposta. A turma 2 recebeu as atividades sobre plano inclinado após a atividade com simulação. Nesta turma não foi feita a correção das questões pois no último dia de aula deveríamos realizar a atividade experimental do plano inclinado e a avaliação. Devido a falta de tempo, os estudantes poderiam ser prejudicados. A tabela 17 a seguir faz uma comparação dos resultados de cada turma.

Tabela 17 – Relação de acertos/erros das atividades teóricas envolvendo o plano inclinado.

Qu estão	Turma 1	Turma 2
1	83,3% responderam corretamente	88,2% responderam corretamente
	16,7% não responderam	11,8% não responderam
2	83,3% responderam corretamente	47% responderam corretamente
	16,7% não responderam	53% não responderam ou responderam incorretamente

3	77,8% responderam corretamente	52,9% responderam corretamente
	22,2% não responderam	47,1% não responderam

Fonte: O autor.

Questão 1: Os egípcios já utilizavam o plano inclinado na construção das pirâmides há 4000 anos atrás. O que você pode afirmar a respeito da inclinação da rampa e a força aplicada pelos egípcios no transporte das enormes pedras da base da montanha à parte superior da mesma?

Figura 16 - Imagem da questão 1 das atividades sobre plano inclinado



Fonte: Física net⁸

O objetivo da questão 1 foi discutir a relação entre a força aplicada para levar um objeto para cima de um plano e sua respectiva inclinação. Na turma 1, 83,3% (15) escreveram respostas corretas, afirmando que quanto maior a inclinação, maior deve ser a força aplicada e 16,7% (3) não responderam as questões. Neste dia 2 estudantes faltaram. Na turma 2, 88,2% (15) responderam corretamente e 11,8% (2) não responderam a questão. Neste dia 1 estudante faltou. Fazendo uma análise das respostas, todos os estudantes concordam que quanto maior a inclinação de um plano inclinado, maior deve ser a força aplicada para mover um objeto para cima do plano.

Questão 2: Um corpo de massa $m = 10 \text{ kg}$ está apoiado num plano inclinado de 30° em relação à horizontal, sem atrito, e é abandonado no ponto A, distante 20 m do solo. Supondo a aceleração da gravidade no local de módulo $g = 10 \text{ m/s}^2$, determinar:

Dica: Primeiro faça um esquema para representar a situação e faça o diagrama de forças que agem no bloco.

a) a aceleração com que o bloco desce o plano;

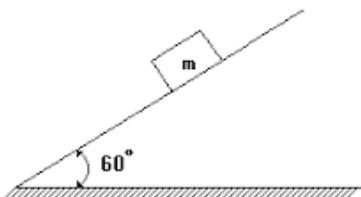
⁸ Disponível em <<http://www.fisica.net/>>. Acesso em 22/07/2018.

b) a intensidade da reação normal sobre o bloco.

Foi tido como objetivo na questão que o estudante adquirisse a prática do cálculo das componentes do peso, assim como da força resultante e da aceleração, grandezas que serão necessários para a atividade experimental que foi proposta. Na turma 1, novamente 83,3% (15) responderam as questões corretamente, realizando todos os cálculos solicitados e os mesmos 16,7% (3) que não responderam a questão 1, também não responderam a questão 2. Na turma 2, 47% (8) fizeram os cálculos corretamente, 17,6% (3) fizeram os cálculos incorretamente, pois não souberam fazer as substituições corretas nas equações e 35,4% (6) não realizaram nenhum cálculo.

Questão 3: *No plano a seguir sabe-se que o coeficiente de atrito estático vale 0,6 e o dinâmico vale 0,4, a massa colocada na rampa mede 5 kg. Nesta situação, faça o que se pede.*

Figura 17 - Imagem da questão 3 das atividades sobre plano inclinado



Fonte: Universia Enem⁹

- a) *Represente as forças que agem no bloco.*
- b) *Calcule as componentes do peso do bloco.*
- c) *Calcule a força resultante atuando no bloco.*
- d) *Determine a aceleração da caixa.*

Novamente foi tido como objetivo que o estudante adquirisse a prática para a determinação das forças que agem em um objeto em um plano inclinado, assim como a determinação da aceleração. Na turma 1, 77,8% (14) realizaram os cálculos corretamente e 22,2% (4) não realizaram os cálculos. Na turma 2, 52,9% (9) fizeram os cálculos solicitados, porém nenhum estudante os fez corretamente para determinar a força resultante e a aceleração de um objeto em um plano

⁹ Disponível em <<http://www.universiaenem.com.br>>. Acesso em 22/07/2018.

inclinado com atrito. Como a atividade foi realizada em casa, a percepção do professor foi que um estudante fez e os outros copiaram, pois o erro foi o mesmo para todos que fizeram. Os estudantes calcularam corretamente o valor das componentes do peso, da força normal e forças de atrito, mas não souberam fazer a força resultante. Os estudantes subtraíram da componente P_x do peso, a força de atrito cinética e a força de atrito dinâmica, em vez de subtrair apenas a força de atrito dinâmica, uma vez que o objeto entrava em movimento. Os estudantes que não responderam somam 47,1% (8).

Vale ressaltar novamente que na turma 2 não foi realizado a correção destas atividades, enquanto que na turma 1, muitos estudantes copiaram as questões do quadro, mesmo sendo solicitado que esta correção fosse feita de caneta vermelha, muitos não a fizeram desta maneira. Assim sendo, não convém fazer uma comparação entre os percentuais de acertos e erros entre as duas turmas.

7.4.3 Atividade experimental com plano inclinado

No último dia de aula, os estudantes realizaram uma atividade experimental com o plano inclinado. Como neste mesmo dia seria necessário a aplicação da avaliação, apenas uma parte da atividade experimental foi realizada. A atividade completa se encontra no Apêndice N. A imagem 18 a seguir representa como a atividade foi realizada.

Figura 18 - Atividade experimental com plano inclinado



Fonte: O autor.

Na atividade realizada, um bloco de madeira foi colocado em repouso sobre um plano inclinado. O professor foi aumentando a inclinação do plano enquanto que um estudante estava atento ao valor do ângulo de inclinação para verificar para qual ângulo o bloco iniciava o movimento. Verificando o ângulo, os estudantes foram informados de seu valor, assim como o valor da massa do bloco. Os estudantes foram instruídos à fazer a determinação das componentes do peso, da força normal, da força de atrito e para finalizar, à determinação do coeficiente de atrito estático. Na tabela 18 é apresentado o percentual de estudantes que realizaram os cálculos referentes à atividade experimental com o plano inclinado.

Tabela 18 – Comparação da realização dos cálculos da atividade experimental sobre plano inclinado.

Cálculo do coeficiente de atrito estático	Turma 1	Turma 2
	84,2%	66,7%
	realizaram corretamente	realizaram corretamente
	15,8% não finalizaram	33,3% não finalizaram

Fonte: O autor.

Na turma 1, 84,2% (16) realizaram todos os cálculos corretamente e 15,8% (3) não terminaram de fazer os cálculos. Na turma 2, 66,7% (10) realizaram os cálculos corretamente e 33,3% (5) não conseguiram realizar os cálculos, pois não fizeram as considerações necessárias, como por exemplo, a força de atrito estática máxima corresponde a componente do peso na direção x, calculada para o ângulo de inclinação máxima. Os estudantes da turma 1 que não terminaram tiveram o mesmo problema.

Fazendo uma análise deste percentual, a turma que não realizou as atividades com a simulação, teve um percentual maior de estudantes que conseguiram fazer os cálculos corretamente, porem não é possível identificar ainda se esta turma teve um maior aprendizado. O que podemos afirmar, é que a atividade foi bem executada, possibilitando a discussão de diversos conceitos relacionados à dinâmica.

7.5 Análise das avaliações aplicadas

7.5.1 Análise da Avaliação 1

A primeira avaliação foi realizada no dia 21/08/2018 com a turma 1 e no dia 24/08/2018 com a turma 2. A mesma prova foi aplicada em ambas as turmas. A avaliação completa se encontra no Apêndice O. Os conceitos abordados na avaliação foram: Força resultante; força peso e normal; decomposição de forças; e força de atrito. Como a pesquisa foi restringida ao que foi estudado de força de atrito em diante, não será discutido os resultados referentes à força resultante, força peso e normal e decomposição de forças. As questões que tratavam de força de atrito são: 7, 8, 9 e 11.

A tabela 19 mostra a quantidade de estudantes e porcentagem de estudantes em cada turma que acertou a questão completamente, parcialmente ou respondeu incorretamente.

Tabela 19 - Comparativo de acertos e erros na primeira avaliação

Que stão	Turma 1: Total 18 estudantes	Turma 2: Total 18 estudantes
7	Correto: 22,2% (4)	Correto: 77,8% (14)
	Parcialmente correto: 33,3% (6)	Parcialmente correto: 16,7% (3)
	Incorretos: 44,5% (8)	Incorretos: 5,5% (1)

8	Correto: 16,7% (3)	Correto: 55,5% (10)
	Justificou corretamente: 16,7% (3)	Justificou corretamente: 90% (9 dos 10 que assinalaram corretamente)
	Incorretos: 83,3% (15)	Incorretos: 44,5% (8)
9	Correto: 11,1% (2)	Correto: 61,1% (11)
	Justificou corretamente: 11,1% (2)	Justificou corretamente: 61,1% (11)
	Incorretos: 88,9% (16)	Incorretos: 38,9% (7)
11	Correto: 44,5% (8)	Correto: 72,2% (13)
	Parcialmente correto: 33,3% (6)	Parcialmente correto: 16,7% (3)
	Incorretos: 22,2% (4)	Incorretos: 11,1% (2)

Fonte: O autor.

Pode-se observar que houve uma porcentagem de acertos maior na turma 2 comparado à turma 1. Na sequência serão feitos comentários a respeito de cada questão.

Questão 7. O atrito sempre dificulta o movimento ou há alguma situação que ele é importante para acontecer um movimento? Pense e escreva situações para justificar sua resposta com base no que estudamos em sala.

Na turma 1, apenas 22,2% (4) acertaram a questão completamente, contra 77,85% (14) da turma 2. Um exemplo de resposta correta está na avaliação do estudante 1 da turma 1, que afirma: *“O atrito nem sempre dificulta, ele ajuda o carro a não patinar ou até mesmo evita que nós deslizamos facilmente, por exemplo,”*, ou na avaliação do estudante 1 da turma 2, que escreveu: *“O atrito é importante para andarmos sem deslizar, para um carro se mover. Portanto o atrito impede um deslizamento”*. Os outros estudantes que acertaram a questão deram respostas semelhantes. Diversos estudantes da turma 1 citaram que o atrito é importante para um carro frear, mas a pergunta é relacionada à importância da força de atrito para acontecer

um movimento. Um exemplo foi o estudante 14 que escreveu: “*Ele é importante nos freios do carro e para nos movimentar*”. Um erro cometido na turma 2 foi do estudante 11, que escreveu: “*O atrito sempre dificulta. Quanto maior a força de atrito, mais força se deve exercer para que ocorra o movimento*”. Percebemos que na turma 1, houve uma grande falta de interpretação da questão por vários estudantes, pelas respostas que não respondiam a pergunta. Esta pode ser a principal causa de erro nas respostas dadas pela turma. É possível que as atividades com simulações tenham contribuído para o raciocínio lógico e interpretação de situações que envolvem forças de atrito.

Questão 8. *Um objeto está em movimento em uma superfície horizontal. Para que este objeto permaneça em movimento retilíneo e uniforme, é necessário que:*

- a) *A força aplicada seja maior que a força de atrito*
- b) *A força aplicada seja menor que a força de atrito*
- c) *A força aplicada seja igual à força de atrito*
- d) *A força de atrito seja nula e a força aplicada seja maior que zero.*

IMPORTANTE: JUSTIFIQUE POR QUE VOCÊ ESCOLHEU ESTA ALTERNATIVA.

Nesta questão, também houve uma grande diferença na quantidade de acertos das duas turmas. Na turma 1, 16,7% (3) acertaram a questão 1, enquanto que na turma 2, 55,5% (10) acertaram a questão. Na turma 1, 72,2% (13) assinalaram a alternativa que afirma que a força aplicada deve ser maior que a força de atrito para o objeto permanecer em movimento quando já está em movimento. Durante a aula foi discutido uma situação em que um objeto estava parado e recebia uma força. Quando o objeto permanecia em repouso, é porque a força de atrito era igual à força aplicada e, para colocar o objeto em movimento, a força aplicada deveria ser maior que a força de atrito. Os estudantes (turma 1) podem ter se lembrado desta discussão, ou apenas usado sua concepção espontânea para respondê-la. Um estudante que errou a questão mas escreveu uma justificativa semelhante às outras, afirmou que: “*Se a força for igual ou menor que a força de atrito o objeto ficará parado pois o atrito impede que o objeto se mova*” (estudante 1). Já o estudante 13 mostrou falta de atenção ao assinalar que a força aplicada deve ser maior que a força de atrito, mas justificar afirmando: “*Porque a força de atrito não pode ser maior que a força aplicada. Ela pode ser igual ou menor*”.

Já na turma 2, que também foi realizado a mesma discussão, os estudantes observaram na simulação que quando um objeto recebe uma

força igual à força de atrito, o objeto permanece em movimento se já estiver em movimento. Muitos estudantes escreveram respostas semelhantes à do estudante 23: *“Sendo as duas forças iguais e o objeto já estando em movimento, a velocidade será constante, isso não aconteceria se ele estivesse inicialmente em repouso”*.

Questão 9. *Um objeto está em movimento devido à ação de uma força de intensidade 50 N. Neste momento, a intensidade da força de atrito também é de 50 N. O que ocorre com a velocidade deste objeto? Como você explica isto? Justifique com base no que estudamos nas aulas.*

Na questão 9, os resultados foram semelhantes à questão 8, sendo que apenas 11,1% (2) acertaram a questão na turma 1, enquanto que 61,1% (11) acertaram a questão na turma 2. Os estudantes 5 e 6 da turma 2 que responderam na questão 8 que a força de atrito deve ser nula e a força aplicada diferente de zero para o objeto permanecer em movimento, escreveram corretamente na questão 9 que as duas forças sendo iguais, o objeto permanece em movimento, já o estudante 14 escreveu o contrário, como o estudante 8 da turma 1. Na concepção da maioria dos estudantes da turma 1, quando as duas forças são iguais, o objeto diminui sua velocidade até parar, como escreveu o estudante 17: *“Ele vai parar porque a força resultante ficará zero Newton”*.

Questão 11. *Justifique a necessidade das forças de atrito para que possamos caminhar, parar um veículo, escrever num papel.*

Na turma 1, 44,4% (8) acertaram a questão, e outros 33,3% (6) deram respostas quase completas, justificando apenas que é importante para não escorregar. Já na turma 2, 72,2% (13) deram respostas completas e outros 16,6% (3) deram respostas quase completas. Em ambas as turmas, os estudantes justificaram que a força de atrito é importante para as coisas não deslizarem, como o estudante 1, da turma 1, que escreveu: *“A força de atrito é importante para que as coisas não deslizem ou saiam do lugar”*, ou o estudante 11, da turma 2, que escreveu: *“O atrito é importante para que não caiamos ao andar, o carro não escorregue ao ser guiado e o lápis não escorregue ao escrever. O atrito é importante para que a superfície não seja lisa”*. Durante as aulas, foi comentado em sala por um estudante que a força de atrito impede que as coisas fluam, e mesmo fazendo uma discussão a respeito, um estudante justificou a importância da força de atrito escrevendo que: *“As pessoas iam fluir, a roda de um carro ia deslizar pelo asfalto quando freamos”* (estudante 7, turma 1).

7.5.2 Análise da Avaliação 2

A avaliação 2 foi aplicada no dia 11/12/2018 na turma 1, e no dia 07/12/2018 na turma 2. A avaliação completa se encontra no Apêndice P. Novamente a avaliação aplicada foi a mesma, contendo 9 questões, abordando os conteúdos de: Força peso e normal, força de atrito, primeira lei de Newton (indiretamente), segunda lei de Newton e plano inclinado. A tabela 20 compara a quantidade de acertos para cada questão em cada turma.

Tabela 20 – Comparativo de acertos e erros na segunda avaliação

Qu estão	Turma 1: Total 17 estudantes		Turma 2: 18 estudantes	
1	I tem a	Correto:	I tem a	Correto:
		5,9% (1)		44,4% (8)
		Parcialment e correto: 76,4% (13)		Parcialmen te correto: 33,3% (6)
	I tem b	Incorreto:	I tem b	Incorreto:
		17,6% (3)		22,2% (4)
		Correto:		Correto:
	35,3% (6)	61,1% (11)		
	I tem c	Parcialment e correto: 0%	I tem c	Parcialmen te correto: 0%
		Incorreto:		Incorreto:
64,7% (11)		38,9% (7)		
	Correto:		Correto:	
	47% (8)		72,2% (13)	
	Parcialment e correto: 0%		Parcialmen te correto: 0%	
	Incorreto:		Incorreto:	
	53% (9)		28,8% (5)	
	Correto: 17,6% (3)		Correto: 38,9% (7)	
2	Parcialmente correto:	Parcialmente		
	64,7% (11)	correto: 44,4% (8)		
	Incorreto: 17,6% (3)	Incorreto: 16,7% (3)		
3	Correto: 17 (100%)	Correto: 72,2% (13)		
	Parcialmente correto: 0%	Parcialmente correto: 27,8% (5)		

		Incorreto: 0%		Incorreto: 0%		
4	tem a	I	Correto: 23,5% (4)	tem a	I	Correto: 22,2% (4)
			Parcialment e correto: 11,7% (2)			Parcialmen te correto: 50% (9)
			Incorreto: 64,7% (11)			Incorreto: 28,8% (5)
	tem b	I	Correto: 35,3% (6)	tem b	I	Correto: 38,9% (7)
			Parcialment e correto: 5,9% (1)			Parcialmen te correto: 22,2% (4)
			Incorreto: 58,8% (10)			Incorreto: 38,9% (7)
5	tem a	I	Correto: 23,5% (4)	tem a	I	Correto: 61,1% (11)
			Incorreto: 76,5% (13)			Incorreto: 38,9% (7)
	tem b	I	Correto: 29,4% (5)	tem b	I	Correto: 50% (9)
			Incorreto: 70,6% (3)			Incorreto: 50% (9)
	tem c	I	Correto: 41,2% (7)	tem c	I	Correto: 50% (9)
			Incorreto: 58,8% (10)			Incorreto: 50% (9)
6	Correto: 52,9% (9)			Correto: 88,9% (16)		
	Incorreto: 47,1% (8)			Incorreto: 11,1% (2)		
7	tem a	I	Correto: 47,1% (8)	tem a	I	Correto: 72,2% (13)
			Parcialment e correto: 5,9% (1)			Parcialmen te correto: 5,6% (1)
			Incorreto: 47% (8)			Incorreto: 22,2% (4)
	tem b	I	Correto: 11,7% (2)	tem b	I	Correto: 22,2% (4)
			Parcialment e correto: 5,9% (1)			Parcialmen te correto: 11,1%

				(2)
		Incorreto: 82,4% (14)		Incorreto: 66,7% (12)
	I tem c	Correto: 11,7% (2)	I tem c	Correto: 16,6% (3)
		Parcialment e correto: 5,9% (1)		Parcialmen te correto: 11,1% (2)
		Incorreto: 82,3% (14)		Incorreto: 72,3% (13)
	I tem d	Correto: 11,7% (2)	I tem d	Correto: 5,5% (1)
		Parcialment e correto: 0%		Parcialmen te correto: 5,5% (1)
		Incorreto: 88,3% (15)		Incorreto: 89% (16)
8		Correto: 52,9% (9)		Correto: 50% (9)
		Incorreto: 47,1% (8)		Incorreto: 50% (9)
9	I tem a	Correto: 58,8% (10)	I tem a	Correto: 44,5% (8)
		Parcialment e correto: 11,7% (2)		Parcialmen te correto: 11% (2)
		Incorreto: 29,5% (5)		Incorreto: 44,5% (8)
	I tem b	Correto: 47% (8)	I tem b	Correto: 61,1% (11)
		Incorreto: 53% (9)		Incorreto: 38,9% (7)
	I tem c	Correto: 47% (8)	I tem c	Correto: 66,7% (12)
		Incorreto: 53% (9)		Incorreto: 33,3% (6)
	I tem d	Correto: 47% (8)	I tem d	Correto: 66,7% (12)
		Incorreto: 53% (9)		Incorreto: 33,3% (6)
	I tem e	Correto: 29,4% (5)	I tem e	Correto: 66,7% (12)

		Incorreto: 70,6% (12)		Incorreto: 33,3% (6)
	I tem f	Correto: 29,4% (5)	I tem f	Correto: 50% (9)
		Incorreto: 70,6% (12)		Incorreto: 50% (9)
	I tem g	Correto: 41,1% (7)	I tem g	Correto: 33,3% (6)
		Incorreto: 58,9% (10)		Incorreto: 66,7% (12)

Fonte: O autor.

É possível observar que a turma 2 obteve melhor desempenho em praticamente todas as questões, principalmente naquelas questões que envolvem conceitos que foram discutidos com uso da simulação combinada à atividade experimental. As respostas das questões são discutidas a seguir.

Questão 1. *Uma pessoa idosa, de massa 68 kg, ao se pesar, o faz apoiada em sua bengala como mostra a figura. Com a pessoa em repouso, a leitura da balança é de 630 N. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.*

Figura 19 - Imagem da questão 1 da avaliação 2



Fonte: Física e Vestibular¹⁰

¹⁰ Disponível em <<http://fisicaevestibular.com.br>>. Acesso em 28/07/2018

a) *Represente na figura, as forças que agem sobre a pessoa. Em seguida, informe quem aplica cada um das forças que você representou.*

b) *Calcule a força que a balança exerce sobre a pessoa e determine sua direção e seu sentido.*

c) *Calcule a força que o chão exerce sobre a bengala.*

Na turma 1, no item a, somente 5,9% (1) desenhou corretamente as forças que agem na pessoa, colocando o peso para baixo e a força normal nos pés e na mão onde segura a bengala, enquanto que na turma 2, 44,4% (8) desenharam corretamente as forças que agem na pessoa. Todos os outros estudantes que responderam a questão colocaram apenas o peso apontando para baixo e a força normal para cima, mas sem dizer onde ela é aplicada. Devido a isso, percebemos que é importante durante a discussão das forças que agem num objeto, comentar onde as forças estão agindo, e onde devemos desenhá-las. No item b, a maior dificuldade foi saber que a indicação da balança corresponde à força normal que a balança exerce sobre a pessoa em seus pés. Alguns estudantes colocaram que a força exercida pelos pés sobre a balança corresponde ao seu peso (estudantes 7, 17, 21, turma 2, e estudantes 13 e 23, turma 1), outros estudantes deixaram em branco. Já no item c, a maioria dos estudantes deixou em branco. Em todas os três itens da questão, a turma 2 teve melhor desempenho.

Questão 2. *Experimento de pensamento: Inicialmente uma força é aplicada horizontalmente em um caixote. Neste momento surge a força de atrito. Veja a figura.*

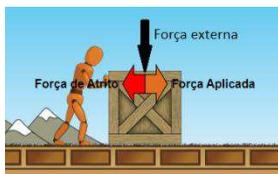
Figura 20 - Imagem da questão 2 da avaliação 2



Fonte: O autor

Se for aplicada uma força sobre o caixote de cima para baixo (veja a figura), o que ocorre com a força de atrito máxima quando o caixote for empurrado na horizontal? Como você explica isso?

Figura 21 - Imagem da questão 2 da avaliação 2



Fonte: O autor.

Na turma 1, somente 17,6% (3) associaram o aumento da força de atrito ao aumento da força normal, enquanto que na turma 2, 38,9% (7) fizeram esta associação, como por exemplo, o estudante 10 da turma 1, que escreveu: *“A força de atrito aumenta, pois a força normal aumenta também, então o bloco perderá velocidade se estiver em movimento”*. Outros estudantes que afirmaram que a força de atrito aumenta, justificaram que é por causa do aumento do peso, como indicado na literatura (SANTOS e SANTOS, 2018) ou porque haverá outra força aplicada. Como exemplo, citamos o estudante 17 da turma 1 que escreveu: *“A força de atrito vai aumentar, pois a força peso irá aumentar”*, e o estudante 12 da turma 2, que escreveu: *“A força de atrito vai aumentar porque a força aplicada sobre o caixote também aumentou”*.

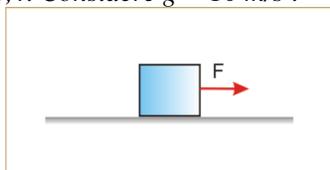
Durante a aula, esta situação foi discutida com a turma 1 somente através do experimento, no qual os estudantes puxaram o bloquinho com o dinamômetro e verificaram que aplicando uma força de cima para baixo, a força de atrito estática aumentava porque aumentava a força normal. Já na turma 2, além de ser discutido este caso na atividade experimental, ela foi discutida anteriormente com o uso da simulação, quando os estudantes estavam investigando de que fatores a força de atrito depende. Acreditamos que a atividade com simulação que antecedeu o experimento tenha influenciado positivamente neste aprendizado.

Questão 3. *Qual é a importância da força de atrito em nossas vidas? Cite exemplos.*

Diferente do que aconteceu na primeira aplicação, os estudantes deram respostas mais completas, escrevendo que a força de atrito é importante para caminhar, parar um carro, não deixar as coisas deslizarem, entre outras. Na turma 1, 100% (17) deram respostas corretas, enquanto que na turma 2, 72,2% (13) deram respostas completas e 27,8% (5) deram respostas citando apenas um exemplo, como o estudante 13, que escreveu: *“A importância é grande, pois nos permite andar sem escorregar, parar, correr...”*. Percebe-se que este e

outros 4 estudantes tem a noção que a força de atrito impede um deslizamento, mas escreveu apenas um exemplo, devido a isso foi considerado parcialmente correto.

Questão 4. Um bloco com massa de 20 kg encontra-se em repouso sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre a superfície e o bloco valem respectivamente 0,5 e 0,4. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

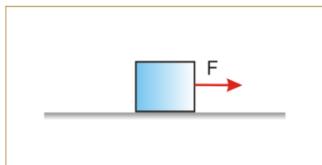


a) Aplica-se no bloco uma força de intensidade 90 N, paralela à superfície de apoio. O bloco entra em movimento? Qual o valor da força de atrito no bloco? Represente as outras forças que agem no bloco.

b) Se a força aplicada for 110 N, o bloco entra em movimento? Qual o valor da força de atrito nesta situação?

Acertaram completamente o item a da questão, 23,5% (4) da turma 1 e 22,2% (4) da turma 2. Já no item b, 35,3% (6) acertaram a questão na turma 1, e 38,9% (7) na turma 2. Na turma 1, 64,7% (11) deixaram a questão em branco, não souberam calcular a força de atrito, nem montar o diagrama de forças, 11,7% (2) calcularam corretamente a força de atrito estática máxima, mas não souberam dizer qual é o valor da força de atrito quando o caixote ainda está em repouso. Na turma 2, 50% (9) fizeram o cálculo corretamente, mas não escreveram o valor da força de atrito, como por exemplo, o estudante 3, que calculou a força de atrito estática máxima, encontrando um valor de 100 N. Como a força aplicada era de 90 N, o caixote não entrava em movimento e a força de atrito era 90 N. Parcialmente, 5,9% (1) acertou o item b da questão na turma 1 e 22,2% (4) na turma 2. Percebe-se que a turma 2 obteve de modo geral um melhor desempenho nesta questão, pois mesmo o percentual de acertos ser bem parecido, a turma 2 conseguiu fazer os cálculos de força de atrito para iniciar a questão.

Questão 5. Imagine um bloco se movendo sobre uma superfície com atrito devido à ação de uma força horizontal F como mostra a figura. Represente na figura as outras forças que agem no bloco.



Explique o que ocorre com a velocidade deste corpo se a força aplicada for:

- a) Maior que a força de atrito.*
- b) Menor que a força de atrito.*
- c) Igual à força de atrito.*

Na turma 1, 23,5% (4) acertaram o item a, 29,4% (5) o item b e 41,2% (7) acertaram o item c. Já na turma 2, 61,1% (11) acertaram o item a, 50% (9) acertaram o item b e 50% (9) acertaram o item c. Um exemplo de resposta correta foi dado pelo estudante 3 da turma 1, que escreveu: “a) A velocidade aumenta. b) A velocidade diminui. c) As duas forças ficam iguais e a velocidade constante”. Na turma 1, 47% (8) deram respostas parcialmente corretas, como o estudante 7, que escreveu: “a) Ele irá se mover. b) Ele não vai se mover. c) Ele ficará constante”. Já na turma 2, 16,7% (3) deram respostas incompletas, semelhantes a do estudante 4, que escreveu: “a) O bloco irá se mover. b) O bloco vai ficar parado. c) O bloco vai ficar parado”. Verificamos que a turma 2 teve um melhor desempenho nesta questão. Os conceitos necessários para responder esta questão foram discutidos e observados com o uso da simulação, onde os estudantes puderam realizar a tarefa com todas as opções descritas no enunciado da questão.

Questão 6. *Um carrinho varia sua velocidade, de 3 m/s até 9,6 m/s em um intervalo de tempo de 2 s. Sendo sua massa de 8 kg, determine o valor da força aplicada que produziu essa variação. Dica: Calcule primeiramente a aceleração do carrinho usando a equação:*

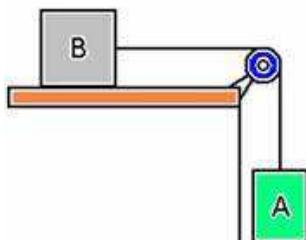
$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

Na turma 1, 52,9% (9) conseguiram fazer os cálculos corretamente, enquanto que na turma 2, 88,9% (16) acertaram a questão. Os outros estudantes deixaram em branco ou não souberam calcular a aceleração do carrinho. Como os estudantes da turma 2 estavam mais familiarizados com o uso das fórmulas para o cálculo da aceleração e da força resultante, pelo seu uso na atividade com simulação, isto pode ter influenciado no resultado desta questão na prova.

Questão 7. *Você fez um experimento que consistia em determinar o valor do coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco B e a superfície*

que o apoia. Em um caso hipotético, suponha que a massa do bloco B seja de 400 g e a massa do bloco A seja de 300 g.

Figura 22 - Imagem da questão 7 da avaliação 2



Fonte: Física e Vestibular¹¹.

Neste caso hipotético, você determinou a aceleração dos blocos e encontrou um valor de 2 m/s^2 . Nesta situação, faça o que se pede.

a) Represente na figura acima, as forças que agem nos blocos A e B.

b) Monte a fórmula da 2ª lei de Newton para cada um dos blocos.

c) Calcule a tensão na corda que liga os blocos.

d) Calcule a força de atrito que age no bloco B.

e) Calcule o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco B e a superfície.

Nesta questão, 47% (8) da turma 1 e 72,2% (13) da turma 2 souberam desenhar o diagrama de forças nos blocos. Isto é reflexo da falta de realizar este processo durante as atividades. Mesmo sendo feito e pedido pelo professor, muitos estudantes não o fazem durante as aulas. Isto implica em dificuldades de montar as equações corretamente na sequência da questão. Apenas 11,7% (2) da turma 1 e 22,2% (4) da turma 2 souberam montar as equações da segunda lei de Newton para os dois blocos. Na turma 1, 11,7% (2) souberam determinar as grandezas pedidas nos itens (b), (c), (d) e (e), e na turma 2, apenas 16,6% (3) fizeram corretamente o item c e 5,5% (1) os itens (d) e (e). A maioria dos estudantes deixou a questão em branco. Foi a questão que os estudantes mais chamaram durante a resolução para tirar dúvidas e foi a questão que os estudantes mais citaram como muito difícil ao final da prova. Uma provável causa para eles não souberem responder esta questão é o fato de estarem acostumados apenas em substituir os

¹¹ Disponível em <<http://fisicaevestibular.com.br>>. Acesso em 28/07/2018

números nas fórmulas e calcular. Nesta questão, eles deveriam ter usado a equação da segunda lei de Newton para montar as fórmulas para determinar a tensão na corda e a força de atrito.

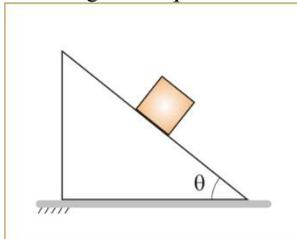
Questão 8. *Os egípcios já utilizavam o plano inclinado na construção das pirâmides há 4000 anos. O que você pode afirmar a respeito da inclinação da rampa e a força aplicada pelos egípcios no transporte das enormes pedras da base da montanha à parte superior da mesma?*



Nesta questão, 52,9% (9) da turma 1 e 50% (9) da turma 2 acertaram a questão, dando respostas coerentes, como a resposta do estudante 25 da turma 1, que escreveu: “*Quanto maior a inclinação maior a força precisa ser para levar o objeto ao topo da rampa*”. Alguns estudantes não relacionaram a inclinação com a força aplicada, como o estudante 23 da mesma turma, que escreveu: “*A rampa ajudará para fazer menos força*”.

Questão 9. *Fizemos um experimento no qual um bloco de madeira foi colocado sobre um plano inclinado. Aumentando a inclinação do plano, verificamos que para um ângulo de 45° o bloco ainda não havia se movido. Quando o ângulo foi aumentado para 46° , o bloco desceu o plano. O esquema que representa a atividade experimental está representado na figura.*

Figura 23 - Imagem da questão 9 da avaliação 2



Fonte: Descomplica¹²

Supondo a massa do bloco igual a 400 g, faça o que se pede.

¹² Disponível em <<https://descomplica.com.br>>. Acesso em 28/07/2018

- a) *Represente no desenho acima, as forças que agem no bloco.*
- b) *Calcule o peso do bloquinho de madeira.*
- c) *Calcule a componente P_x do peso.*
- d) *Calcule a componente P_y do peso:*
- e) *Calcule a força normal.*
- f) *Calcule a força de atrito estática máxima.*
- g) *Calcule o coeficiente de atrito estático.*

Nesta questão, 58,8% (10) da turma 1 e 44,4% (8) da turma 2 conseguiram fazer corretamente o diagrama de forças, mas os cálculos do peso e das componentes do peso, apenas 47% (8) da turma 1 e 61,1% (11) da turma 2 conseguiram. Para a determinação da força normal, na turma 1, 29,4% (5) associaram corretamente o valor da força normal ao valor da componente vertical do peso, enquanto que na turma 2, 66,7% (12) fizeram esta associação correta. Na turma 1, 29,4% (5) associaram corretamente o valor da força de atrito estática máxima ao valor da componente horizontal do peso, enquanto que na turma 2, 50% (9) fizeram esta associação correta. Nesta questão, muitos estudantes a deixaram em branco, como fizeram na questão 7. Na determinação do coeficiente de atrito estático, na turma 1, 41,1% (7) fizeram os cálculos corretamente, e na turma 2, 33,3% (6) fizeram a associação correta. Comparando o percentual de acertos, verifica-se que a turma 2 teve um desempenho levemente melhor nesta questão. O motivo pode ser novamente a atividade com simulação realizada pela turma, onde os estudantes realizaram mais vezes os cálculos referentes às forças no plano inclinado.

Foi perguntado ainda na turma 2, se a combinação de simulação e experimentação foi boa para o aprendizado. Os estudantes poderiam assinalar entre Muito pouco, Pouco, Médio ou Bastante. Nas considerações dos estudantes, 61,1% (11) da turma considerou nível médio e 38,9% (7) assinalou bastante. Observa-se que nas concepções dos estudantes, as atividades com simulação e experimentação foram boas ou muito boas, trazendo um bom aprendizado sobre os conceitos discutidos em sala.

7.67.6 Discussões gerais sobre a aplicação

Em linhas gerais pode-se observar que as simulações associadas às atividades experimentais auxiliaram os estudantes na compreensão dos conceitos. Em algumas situações tratadas nas avaliações, os estudantes que tiveram o tratamento combinado apresentaram um desempenho melhor do que os que fizeram apenas as atividades experimentais.

Esta observação é mais evidente nas questões que discutem fenômenos e conceitos abordados com uso das simulações. Como exemplo, na questão 8 da Avaliação 1, onde foi perguntado o que é necessário para que um objeto que se move com velocidade constante permaneça em movimento com velocidade constante, houve diferença no percentual de acertos. Na turma 1 - que não fez uso da simulação - 16,7% dos estudantes acertaram a questão, e 72,2% assinalaram a opção onde constava a afirmação que a força aplicada deveria ser maior do que o atrito para que o bloco se movesse com velocidade constante. Na turma 2 o percentual de acerto foi de 55,5%. A manipulação da simulação permitiu ao estudante a reflexão do efeito causado por uma força maior, menor ou igual à força de atrito aplicada em um corpo.

Na questão 5 da avaliação 2, onde foi perguntado o que ocorre com a velocidade de um objeto em três situações ((a) força aplicada maior que a força de atrito; (b) força aplicada menor que a força de atrito; (c) força aplicada igual à força de atrito), mostrou resultados semelhantes. Na turma 1, 23,5% acertaram o item a, 29,4% o item b e 41,2% acertaram o item c. Já na turma 2, 61,1% acertaram o item a, 50% acertaram o item b e 50% acertaram o item c. Desta forma, os resultados permitem inferir que a simulação influenciou no aprendizado deste conceito.

Outra questão que mostrou uma grande diferença no percentual de acertos foi a questão 2 da Avaliação 2, que trata da dependência da força de atrito com a força normal. Para responder esta questão, os estudantes da turma 1 precisaram lembrar da discussão realizada com experimentos (blocos e dinamômetros). Já a turma 2, participou de uma reflexão anteriormente com o uso da simulação e na sequência com os experimentos. Na turma 1, 17,6% associaram o aumento da força de atrito ao aumento da força normal, enquanto que na turma 2, 38,9% fizeram esta associação. Novamente os resultados permitem inferir que a atividade com simulação realizada previamente ao experimento trouxe um melhor aprendizado.

Diversos trabalhos apontam as mesmas observações, que o uso combinado de atividades experimentais e simulações favorece o aprendizado, como por exemplo, nos trabalhos de Jaakkola e Nurmi (2007), Zacharia (2006) e Mendes, Costa e Souza (2012).

Além de favorecer um melhor aprendizado, as atividades com simulação também permitem aos estudantes que eles tenham uma melhor preparação para a resolução de atividades teóricas como prevê a TCC. Por exemplo, na questão 6 da Avaliação 2, muitos estudantes da turma 1 não conseguiram aplicar o resultado da aceleração na equação

da segunda lei de Newton. Na atividade com simulação, os estudantes realizaram diversas vezes este procedimento, o que resultou em uma melhor preparação para este tipo de atividade.

Na percepção do professor (pesquisador), os estudantes que realizaram atividades com simulações realizaram uma quantidade maior de perguntas teóricas durante as atividades experimentais, enquanto que os estudantes que não realizaram atividades com simulações tiveram muitas dificuldades na realização dos procedimentos. Podemos dizer que os estudantes que participaram das atividades com simulações estavam mais preparados para realizar os procedimentos dos roteiros das atividades experimentais. Os estudantes que não participaram das atividades com simulação necessitavam de ajuda mais frequente na coleta e análise de dados. Uma observação semelhante foi apresentada no trabalho de Winberg e Berg (2005). Estes autores explicam que os estudantes que completaram as atividades com simulação, desenvolvem esquemas mais completos sobre o conteúdo abordado e, portanto, tem capacidade cognitiva disponível para pensar sobre o que eles estão fazendo.

Como premissa da TCC, estes esquemas obtidos durante a atividade com simulação reduziram a carga cognitiva intrínseca, liberando assim capacidade na memória de trabalho, permitindo considerações relevantes durante a atividade experimental (WINBERG e BERG, 2005). Desta forma, pode-se concluir que as atividades com simulações clarificaram e estruturaram um conhecimento na memória de longo prazo dos estudantes, permitindo sintonia de informações aprendidas anteriormente, com as informações presentes nas atividades experimentais, o que está de acordo com a justificativa de que o nível de conhecimento do estudante afeta o desempenho em atividades futuras.

Através das observações realizadas, análise dos resultados das atividades semanais, análise dos resultados das provas, e releitura dos relatos semanais, pode-se concluir que as atividades experimentais e simulações utilizadas de modo combinado, promovendo reflexões sobre os fenômenos abordados nas aulas, podem auxiliar na aprendizagem. Esta mesma conclusão já foi apontada por diversos outros trabalhos (WINBERG e BERG, 2005; JAAKOLA; NURMI, 2007; ZACHARIA, 2006; LEAL et al., 2015; NEVES et al., 2013; MENDES, COSTA e SOUZA, 2012; DUARTE e MORAES, 2009; DUARTE, 2012; LOPES et al., 2009; SCHUHMACHER et al., 2005; SANTOS e DICHMAN, 2019; MORO, NEIDE e VETTORI, 2015; MORO, NEIDE e REHFELDT, 2016; e SOUZA e MELLO, 2017).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma proposta e análise dos resultados de uma aplicação de uma sequência de aulas abordando conceitos de dinâmica, aplicadas a duas turmas de 1º ano do Ensino Médio de uma escola estadual de Santa Catarina. A abordagem investigada envolveu a combinação de simulações computacionais e experimentos. As atividades foram orientadas pelo professor e utilizaram roteiros pré-estabelecidos.

No grupo denominado turma 1, as aulas foram expositivas-dialogadas, os estudantes realizaram atividades teóricas e atividades com experimentos. Enquanto no grupo denominado turma 2, as aulas foram expositivas-dialogadas, seguidas de atividades introdutórias com uso de simulação¹³ para discutir os conceitos de força de atrito, primeira lei de Newton, segunda lei de Newton e plano inclinado. As atividades experimentais realizadas pelos estudantes deste grupo foram as mesmas realizadas pela turma 1.

A utilização de um roteiro, como defendido por Leal et al. (2015) e por Nogueira et al. (2007) se mostrou eficiente, pois forneceu ao estudante, que não tem experiência com o uso de simulações elaboradas para o ensino, um caminho a ser seguido, com instruções e fenômenos a serem observados e explicados. Como é comum acontecer, em algumas partes das atividades, alguns estudantes não conseguiram seguir o roteiro adequadamente, talvez por não realizarem uma leitura com a devida atenção, e devido a um número excessivo de informações em alguns itens. Neste caso a carga cognitiva foi elevada.

O uso da simulação permitiu aos estudantes a visualização de fenômenos que seriam de difícil interpretação utilizando apenas quadro e giz (Medeiros e Medeiros, 2002, Souza e Melo, 2017), além de discussões de aspectos importantes, como a relação entre a força resultante e a aceleração, com apresentação de argumentos mais favoráveis ao entendimento.

Foi observado por diversas vezes durante a atividade com simulação que os estudantes ao terminarem de realizar uma tarefa solicitada pelo professor, continuavam a fazer novas descobertas, pela

¹³ As simulações utilizadas estão disponibilizadas gratuitamente no site do PhET (<https://phet.colorado.edu>) e puderam ser baixadas e utilizadas nos computadores da escola e do professor sem a necessidade de acesso à internet.

sua curiosidade, através da manipulação da simulação. A simulação, aparentemente, se mostrou tão atrativa quanto um jogo de videogame, no qual o estudante se sente feliz em realizar uma “missão”, que neste caso é uma tarefa que trará conhecimento.

Durante todas as atividades com simulação, a percepção do professor foi que os estudantes estavam sempre interessados e participativos, e em poucos momentos os estudantes mostraram estar entediados ou cansados. Autores de outros estudos também apontam esta percepção (SCHUHMACHER et al., 2005; LOPES et al., 2009; MENDES, COSTA e SOUZA, 2012; MORO, NEIDE e VETTORI, 2016; SOUZA e MELLO, 2017; SANTOS e DICKMAN, 2019).

Como é apontado pela literatura (PEDUZZI, ZYLBERSZTAJN e MOREIRA 1992), algumas explicações para determinados fenômenos são resistentes. Por exemplo, na atividade sobre os fatores que influenciam a força de atrito, muitos estudantes responderam que ela depende da força peso, ou da massa do objeto, mesmo após as discussões. Entretanto, os extratos das discussões apresentadas mostram que o uso combinado de simulações e atividades experimentais permitiram a discussão de como a forma de aplicação da força influencia o atrito. Nessas discussões o professor tem um papel fundamental para possibilitar a ressignificação dos conceitos, pois pode chamar a atenção de aspectos da simulação e das atividades experimentais que os estudantes não percebem sozinhos (LEAL et al, 2015).

A dificuldade de representar objetos em movimentos como citado por Medeiros e Medeiros (2002) utilizando o quadro e giz foi verificada na turma 1 para a discussão de questões, como por exemplo na aula 3, que tratou sobre força de atrito. Neste momento, os estudantes mostraram muitas dificuldades para fazer a determinação da força de atrito estática e dinâmica para diferentes forças aplicadas. A percepção do professor foi que através do uso da simulação, os estudantes mostraram ter maior compreensão sobre os valores de força de atrito no objeto empurrado. Na simulação, pôde ser observado que a força de atrito estática é igual ao valor da força aplicada. Ao entrar em movimento, a força de atrito atuando no caixote diminui e se mantém constante para qualquer velocidade do caixote. Valores estes que foram de difícil compreensão sem o uso da simulação.

A análise das respostas do questionário sobre a primeira lei de Newton permite inferir que a discussão seja ela feita através de modo tradicional, utilizando experimentos ou com simulação pode trazer bons resultados. Observou-se que a turma que não realizou atividades com

simulação obteve percentuais maiores de acertos nas questões. Porém não podemos afirmar que as qualidades nas respostas foram melhores. Houve uma porcentagem maior de acertos no questionário, mas as respostas foram semelhantes. Segundo os estudantes das duas turmas, a maior dificuldade na resolução das atividades é de lembrar o conteúdo, dos resultados das atividades anteriores e das discussões realizadas em sala.

Um aspecto importante na elaboração de roteiros ou materiais didáticos é a quantidade de informações e instruções. Observou-se que o excesso pode dificultar a realização de uma tarefa com simulação ou com experimentos, devido à elevada carga cognitiva. Na turma 2 as dificuldades foram evidentes na atividade com simulação para a discussão da relação entre força resultante, massa e aceleração. A maioria dos estudantes mostrou dificuldades para realizar a atividade, pois não conseguiram lembrar a ordem dos procedimentos.

Vale ressaltar que o papel dos roteiros é facilitar a familiaridade com os recursos fornecidos pelas simulações, servindo como guia para direcionar o uso das simulações, favorecendo o estabelecimento das relações relevantes.

O mesmo ocorreu com a turma 1 na atividade com plano horizontal com atrito. A atividade exigiu do estudante diversos cálculos em uma mesma questão. Para reduzir a dificuldade e trazer melhores resultados, os cálculos devem ser pedidos em etapas, como foi feito na turma 2. Após o estudante terminar de fazer um cálculo, outro pode ser solicitado, para que o estudante não tenha uma grande quantidade de informações para processar ao mesmo tempo.

Nas atividades experimentais sobre plano horizontal, além dos problemas relacionados aos cálculos de diversas grandezas, outros problemas foram verificados. A medida da força de atrito estática com o uso do dinamômetro indicou valores diferentes para cada equipe que realizou a atividade. A dificuldade de puxar o dinamômetro sempre da mesma maneira e a dificuldade de realizar a leitura com os valores variando fez com que os estudantes medissem valores diferentes para a força de atrito estática máxima. Para melhorar a qualidade dos resultados, sugere-se que numa aplicação futura, a atividade seja realizada com o plano inclinado em vez de utilizar dinamômetro, como proposto no trabalho de Santos e Santos (2018). Desta forma, a medida do valor da força aplicada para iniciar e manter o movimento, corresponde à componente horizontal do peso do objeto colocado sobre o plano.

Os resultados encontrados pelos estudantes na atividade com o trilho de ar – construído pelo professor - mostrou que o trilho apesar de diminuir a força de atrito, não a reduz à zero. Desta maneira, a discussão entre as grandezas força aplicada, massa e aceleração podem ser discutidas qualitativamente, uma vez que é possível identificar que para forças maiores aplicadas, a variação de velocidade é maior. A relação inversamente proporcional entre massa e aceleração também é possível de se discutir qualitativamente. Para uma discussão quantitativa destas grandezas com o uso do trilho de ar, a não eliminação da força de atrito deve ser bem discutida. Neste caso a simulação é fundamental para complementar o estudo, pois na atividade experimental foi possível diminuir o atrito quase a zero, mas diminuí-lo completamente não conseguiremos com equipamentos simples e numa sala de aula. A simulação permite a visualização do que acontece com um corpo numa situação de atrito nulo.

O experimento realizado na discussão da segunda lei de Newton é abordado no trabalho de Hessel, Santos & Canola (2011), feitas algumas alterações referentes à determinação da aceleração. No presente trabalho, os resultados encontrados foram muito satisfatórios, com valores muito próximos do esperado. A diferença foi justificada pela presença de forças de atrito. No nosso caso, a conclusão que chegamos aos discutir os resultados com os estudantes também foi a presença da força de atrito, porém a força de atrito foi mais intensa, o que causou uma grande diferença nos resultados.

Nas duas atividades com plano horizontal, com atrito e sem atrito, a turma 1 demonstrou mais dificuldades. Como apresentado nos trabalhos de Santos e Dickman (2019) e Winberg e Berg (2005), também podemos concluir que os estudantes que realizaram as atividades com simulação estavam mais preparados para a atividade experimental, para fazer o manuseio dos equipamentos, assim como a coleta e análise de dados.

Em relação às atividades com plano inclinado, não podemos concluir se as atividades com simulação discutidas com os estudantes da turma 2 tenham influenciado na realização da atividade experimental, uma vez que a atividade experimental foi realizada em conjunto apenas uma vez para a determinação do coeficiente de atrito estático. Devido à falta de tempo no final do ano, a atividade experimental não foi concluída por completo.

Dentre todos os problemas citados na realização das atividades, os mais difíceis de serem solucionados com o uso da simulação e dos experimentos são os problemas relacionados à interpretação de textos e

das questões (RICON e ALMEIDA, 1991), assim como os problemas de resolução de equações.

Outro problema encontrado, também citado no trabalho de Silva, Nunes e Mercado (2016) foi a quantidade de computadores em funcionamento na sala de informática. Na maioria das aulas, apenas 4 ou 5 computadores estavam funcionando. Desta forma, os estudantes trabalharam em equipes de 3 ou 4 estudantes. Para a utilização da simulação, foi necessário o seu *Download* e abertura *offline* com um navegador do computador. Para a execução da simulação *Rampa: Forças e Movimento*, eram necessários a instalação do Java nos computadores. Como não foi possível acesso à internet e a instalação necessitava de uma senha de acesso, não foi possível sua utilização na sala de informática. Entretanto, a utilização desta simulação na sala de aula com um computador e a projeção no quadro foi executada. Os estudantes estavam atentos e participativos durante todo o processo.

A análise dos resultados das avaliações mostrou que a turma 2 obteve melhores resultados do que a turma 1 em quase todas as questões. Em algumas questões, a diferença entre o percentual de acertos foi grande. As questões que mostraram as maiores diferenças foram as questões relacionadas a fenômenos discutidos com o uso da simulação pela turma 2. Estes resultados também foram apontados por outros trabalhos (ZACHARIA, 2006; JAAKKOLA e NURMI, 2007; MENDES, COSTA e SOUZA, 2012).

Alguns dos motivos para esta melhora são: cada método (simulação e experimentação) possui características únicas que são necessárias para promover uma compreensão mais profunda sobre determinado assunto (JAAKKOLA e NURMI, 2007); a atividade prévia com simulação favorece ao estudante a utilização de conceitos científicos mais facilmente durante o laboratório. Como prevê a TCC, o conhecimento prévio do estudante afeta o que será aprendido (WINBEG e BERG, 2005); as atividades com simulação e experimentação têm grande potencial de atrair o interesse dos estudantes (SANTOS E DICKMAN, 2019; MENDES, COSTA e SOUZA, 2012).

Apesar de não resolver todos os problemas de ensino de física, o planejamento com simulação e experimentação podem auxiliar no processo ensino-aprendizagem, trazendo à sala de aula altos níveis de concentração da turma no conteúdo trabalhado, o que é importantíssimo para o aprendizado. Somente aprende o estudante que está focado, participando ativamente da aula, e a simulação, principalmente quando utilizada de modo que o estudante seja um participante ativo na

investigação de hipóteses, retêm a atenção do estudante para aquilo que se quer estudar.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. S. T.; ABID, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 25, no. 2, p. 176 – 194, 2003.

BESSON, U. et al. How to teach friction: experiments and models. *American Journal of Physics*, 75(12), p. 1106 – 1113, 2007.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**. Ministério da Educação. Brasília. 2002.

CARDOSO, S. O. O.; DICKMAN, A. G. Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 29, n. Especial 2: p. 891-934, Belo Horizonte, 2012.

DENZIN, N.; LINCOLN, Y. S. **The Sage handbook of qualitative research**. London: Sage, 2005.

DIVIDINO, R. Q.; FAIGLE, A. **Distinções entre memória de curto prazo e memória de longo prazo**. Instituto de Computação – Unicamp. Disponível em: <<http://www.ic.unicamp.br/~wainer/cursos/906/trabalhos/curto-longo.pdf>>. Acesso em: 27 março de 2017.

DUARTE, S. E. Física para o ensino médio usando simulações e experimentos de baixo custo: um exemplo abordando dinâmica da rotação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 1: p. 525 - 542, 2012.

DUARTE, S. E. S.; MORAES, R. X. **Dinâmica das rotações e simulações computacionais para o ensino médio**. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, 2009.

FLICK, Uwe. **Desenho da pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GIORDAN, M. **O papel da experimentação no ensino de ciências**. São Paulo, 1999.

HEIDEMANN, L. A. et al. Ciclos de Modelagem: Uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 2: p. 965 - 1007, 2012.

HESSEL, R., SANTOS, R. C. M., CANOLA, S. R. **A segunda lei de Newton – uma verificação experimental**. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física, Manaus, 2011.

JAAKKOLA, T.; NURMI, S. **Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities**. Finland: Turku, 2007.

JOÃO, H. A., CÂMARA, J. M., VICENTE, E. R. **Laboratórios virtuais no ensino de Física**. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, 2015.

LEAL, A. C. S. et al. **Utilização de simulação computacional, experimento e intermediação do professor no ensino de movimento de projéteis para o ensino médio**. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, 2015.

LOPES, R. P. et al. **Experimentação real e virtual de circuitos elétricos simples como ferramenta mediadora no processo de aprendizagem de Física**. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Vitória, 2009.

MEDEIROS A.; MEDEIROS C. M. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 87-90, 2002.

MENDES, J. F., COSTA, I. F., SOUZA, C. M. S. G. O uso do software Modellus na integração de conhecimentos teóricos e atividades experimentais de tópicos de mecânica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, 2012.

MIRANDA, M. S.; ARANTES, A. R.; STUDART, N. **Objetos de Aprendizagem no Ensino de Física: Usando simulações do PhET**. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física, Manaus, 2011.

MORO, F. T.; NEIDE, I. G.; REHFELD, M. J. H. Atividades experimentais e simulações computacionais: integração para a construção de conceitos de transferência de energia térmica no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 33, n. 3, p. 987-1008, Erechim, 2016.

MORO, F. T.; NEIDE, I. G.; VETTORI, M. **Atividades experimentais e simulações computacionais: Alicerces dos processos de ensino e de aprendizagem da física no ensino médio**. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, 2015.

NEVES, J. A. et al. **Simuladores como atividades práticas complementares ao laboratório real**. XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Paulo, 2013.

NOGUEIRA, A. L. F. S. et al. **Uso de simulações computacionais no ensino de Física: análises das mudanças conceituais no ensino de quantidade de movimento**. XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Maranhão, 2007.

PEDROSO, L. S.; ARAÚJO, M. S. T. **Simulações interativas no ensino de conceitos de eletromagnetismo**. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física. Manaus, 2011.

PEDUZZI, L. O. Q.; ZYLBERSTAJN, A.; MOREIRA, M. A. As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa sequência de conteúdos em mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Vol. 14 no. 4, p. 239 – 246. Florianópolis, 1992.

PHET, INTERACTIVE SIMULATIONS. Disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/>. Acesso em 02 de janeiro de 2019.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5a ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RAUBER, M. F. **Sistema tutor inteligente aplicado ao Ensino de Ciências: uma proposta de arquitetura**. Dissertação (Dissertação em Ensino de Física). UFSC, Florianópolis, 2017.

SANTOS, J. C., DICKMAN, A. G. Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 41, nº 1, 2019.

SANTOS, L. M. A.; TAROUÇO, L. M. R. **A importância da Teoria da Carga Cognitiva em uma Educação Tecnológica**. Porto Alegre, 2007.

SANTOS, T. F. M.; SANTOS, P. J. S. Relato e análise de uma sequência didática sobre forças de atrito com uso de kits de robótica educacional no primeiro ano do ensino médio. **Revista Novas Tecnologias na Educação**. Vol. 16 no 2, 2018.

SHUHMACHER, E. et al. **Física experimental auxiliada por laboratório virtual**. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física. Rio de Janeiro, 2005.

SILVA, I. P., NUNES, E. T., MERCADO, L. P. L. Experimentos virtuais no estágio supervisionado de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1115-1144, 2016.

SILVA, N. C., MENEZES, D. P., BATISTA, A. **Uso de simulações como complemento para experiência de visita ao parque Viva a Ciência**. XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Paulo, 2013.

SOUZA, E. J., MELLO, L. A. O uso de jogos e simulação computacional como instrumento de aprendizagem: campeonato de aviões de papel e o ensino de Hidrodinâmica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 530-554, 2017.

SWELLER, J. **Visualisation and Instructional Design**. Austrália: Sydney, 1999.

WIEMAN, C. E.; ADANS, W. K.; PERKINS, K. K. PhET: Simulations That Enhance Learning. **American Association for the Advancement of Science**. Vol. 322, p. 682 – 683. Washington, 2008.

WINBERG, T. M.; BERG, C. A. R. **Students' Cognitive Focus During a Chemistry Laboratory Exercise: Effects of a Computer-Simulated Prelab.** 2005.

ZACHARIA, Z. C. **Comparing and combining real and virtual experimentation: an effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits.** Chipre: Nicosia. 2006.

ZYLBERSZTAJN, A. **Concepções espontâneas em Física: Exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 5, n. 2, p. 3-16, 1983.

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para os estudantes

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID
FERREIRA LIMA - TRINDADE
CEP: 88.040-900 - FLORIANÓPOLIS – SC
Telefone: (48) 3721 – 2876. Fax: (48) 3721 – 9946.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Estimado estudante

Você está sendo convidado(a) a participar de um projeto de dissertação de mestrado intitulado “**Uma combinação de atividades experimentais e simulação para o ensino de dinâmica**”. Este projeto está ligado ao departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

Ao longo deste estudo, pretende-se desenvolver atividades didáticas para a discussão de conceitos e interpretação das leis de Newton, aplicadas em um plano horizontal e inclinado, para oportunizar o aprendizado sobre os movimentos. Pretende-se aplicar estas atividades na sua turma do ensino médio com o intuito de avaliar sua eficácia na aprendizagem destes conhecimentos. Este estudo tem como objetivo a busca por metodologias de ensino que permitam um melhor aprendizado nas classes de ensino médio através da combinação de simulação digital e experimentação.

Os responsáveis por este trabalho são: o mestrando Flávio Wiemes, aluno regularmente matriculado no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF – Polo UFSC que poderá ser contactado pelo telefone: (48) 996816603, pelo e-mail: flavio.cdf@gmail.com, ou ainda pessoalmente nas dependências da EEB Conselheiro Manoel Phillipi, no período matutino nas sextas-feiras e no

período vespertino nas segundas-feiras, e o professor Paulo José Sena dos Santos, do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina que poderá ser contatado pelo telefone: (48) 3721-3708, pelo e-mail: paulo.sena@ufsc.br, ou ainda pessoalmente no Departamento de Física, localizado no Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima – bairro Trindade – Florianópolis – CEP: 88040-900.

Ao longo de algumas aulas da disciplina de física que ocorrem normalmente na EEB Conselheiro Manoel Phillipi, você realizará atividades em grupo com uso de alguns aplicativos digitais com o objetivo de facilitar o aprendizado de conteúdos relacionados a descrição dos movimentos. Você também irá realizar atividades experimentais utilizando um plano horizontal e outro inclinado e alguns blocos de madeira para estudar os conceitos envolvidos. Nestas aulas você entrará em contato com diversas atividades educacionais planejadas para serem executadas de forma individual ou colaborativa. Nestes momentos, poderão ser coletados dados através dos seguintes instrumentos:

- Gravações em áudio das discussões em sala de aula.
- Registros escritos pelos estudantes.
- Questionários e avaliações.
- Registros do pesquisador e/ou do professor da disciplina

Estes dados coletados serão analisados posteriormente de forma a garantir o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, atendendo a legislação brasileira (Resolução Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde). Os resultados deste projeto, cujos objetivos são estritamente acadêmicos e científicos, poderão ser divulgados através de artigos científicos e comunicações em congressos, sempre envolvendo o anonimato entre os participantes.

Para participar deste projeto, você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Ressalta-se que não é previsto nenhum risco ou desconforto além dos quais você naturalmente estaria sujeito ao participar de uma atividade educacional coletiva. Você poderá ficar cansado ou aborrecido ao responder questionários, sentir algum desconforto durante as gravações de áudio das discussões em sala de aula ou até mesmo ficar constrangido ao realizar alguma atividade colaborativa com os demais colegas. Existe também o risco de quebra de sigilo involuntária e não intencional caso porventura houver furto ou extravio de computador ou dispositivos com arquivos armazenados. Por

isso, o pesquisador compromete-se a tomar todas as precauções para evitar ou minimizar quaisquer riscos. Salienta-se que ao participar do projeto, você estará contribuindo para a melhoria do ensino de física no país.

Como esta pesquisa será realizada dentro do ambiente escolar, caso venha sofrer algum acidente ou mal-estar durante sua realização, você será encaminhado aos setores ou órgãos de assistência da escola aos quais normalmente seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar durante qualquer outra atividade escolar. Caso você tenha alguma despesa adicional ou venha a sentir-se lesado física ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação no projeto, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e/ou indenização pelos danos sofridos.

Caso você perceba a necessidade de descontinuar a sua participação no projeto, informamos que esta solicitação poderá ser feita a qualquer momento através do contato anteriormente disponibilizado. Você será esclarecido (a) sobre o projeto em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. Salienta-se que as atividades desenvolvidas fazem parte das aulas regulares da disciplina, assim, a não concordância com a participação no projeto não lhe isenta da realização das atividades propostas em sala de aula pelo pesquisador ou pelo professor. Sua participação é voluntária e a recusa em participar no projeto não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que você é atendido (a) pelo professor ou pelo pesquisador.

Os aspectos éticos desta pesquisa são regulamentados pela resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e leis complementares, das quais o professor/pesquisador e seu orientador estão cientes e comprometem-se a seguir rigorosamente. O projeto de pesquisa, seus objetivos e metodologia, bem como este termo de consentimento livre e esclarecido, foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC), que pode ser contatado pessoalmente na rua Desembargador Vitor Lima 222, Prédio Reitoria II, 4o. andar, sala 401, Florianópolis, SC, pelo telefone (48) 3721-6094 e pelo e-mail cep.propesq@contato.ufsc.br. Este termo será assinado em duas vias, uma cópia ficará com você para eventuais consultas e a segunda cópia será arquivada pelo pesquisador.

Pretende-se que este trabalho traga contribuições para o ensino de física possibilitando o desenvolvimento e avaliação de novas metodologias que facilitem a aprendizagem.

Nos colocamos a disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o projeto.

Declaração do estudante participante

Após a leitura do termo de consentimento, eu, _____ declaro estar suficientemente informado (a) a respeito do trabalho “**A combinação de atividades experimentais e simulação para o ensino de dinâmica**”. Declaro estar esclarecido acerca dos propósitos do trabalho, dos procedimentos que serão adotados, das garantias de confidencialidade e de que a qualquer momento posso pedir para que os dados coletados referentes a minha pessoa não sejam utilizados na pesquisa, o que não caracteriza dispensa da realização das atividades propostas em sala de aula.

Estudante convidado e CPF

Declaração do Pesquisador

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido do sujeito de pesquisa, ou do representante legal, para a participação neste projeto. Comprometo-me a conduzir a pesquisa de acordo com o que preconiza a Resolução 466/12 de 12/06/2012, que trata dos preceitos éticos e da proteção aos participantes da pesquisa.

Pesquisador

Águas Mornas, ____ de _____ de 2017.

APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para os pais

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID
FERREIRA LIMA - TRINDADE
CEP: 88.040-900 - FLORIANÓPOLIS – SC
Telefone: (48) 3721 – 2876. Fax: (48) 3721 - 9946

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Senhores Pais e/ou Responsáveis

Seu (sua) filho (a) está sendo convidado (a) a participar de um projeto de pesquisa intitulado “**A combinação de atividades experimentais e simulação para o ensino de dinâmica**”. Este projeto está ligado ao departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

Ao longo deste estudo, pretende-se desenvolver atividades didáticas para a discussão de conceitos e interpretação das leis de Newton, aplicadas em um plano horizontal e outro inclinado, para oportunizar o aprendizado sobre os movimentos. Pretende-se aplicar estas atividades na turma de seu (sua) filho(a) com o intuito de avaliar sua eficácia na aprendizagem destes conhecimentos. Este estudo tem como objetivo a busca por metodologias de ensino que permitam um melhor aprendizado nas classes de ensino médio através da combinação de simulação digital e experimentação.

Os responsáveis por este trabalho são: o mestrando Flávio Wiemes, aluno regularmente matriculado no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF – Polo UFSC que poderá ser contatado pelo telefone: (48) 996816603, pelo e-mail: flavio.cdf@gmail.com, ou ainda pessoalmente nas dependências da EEB Conselheiro Manoel Phillipi, no período matutino nas sextas-feiras e no

período vespertino nas segundas-feiras, e o professor Paulo José Sena dos Santos, do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina que poderá ser contatado pelo telefone: (48) 3721-3708, pelo e-mail: paulo.sena@ufsc.br, ou ainda pessoalmente no Departamento de Física, localizado no Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima – bairro Trindade – Florianópolis – CEP: 88040-900.

Ao longo de algumas aulas da disciplina de física que ocorrem normalmente na EEB Conselheiro Manoel Phillipi, o estudante realizará atividades em grupo com uso de alguns aplicativos digitais com o objetivo de facilitar o aprendizado de conteúdos relacionados a descrição dos movimentos. O estudante também irá realizar atividades experimentais utilizando um plano horizontal e outro inclinado e alguns blocos de madeira para estudar os conceitos envolvidos. Nestas aulas o estudante entrará em contato com diversas atividades educacionais planejadas para serem executadas de forma individual ou colaborativa. Nestes momentos, poderão ser coletados dados através dos seguintes instrumentos:

- Gravações em áudio das discussões em sala de aula.
- Registros escritos pelos estudantes.
- Questionários e avaliações.
- Registros do pesquisador e/ou do professor da disciplina

Estes dados coletados serão analisados posteriormente de forma a garantir o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, atendendo a legislação brasileira (Resolução Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde). Os resultados deste projeto, cujos objetivos são estritamente acadêmicos e científicos, poderão ser divulgados através de relatórios, artigos científicos e comunicações em congressos, sempre envolvendo o anonimato entre os participantes.

Para participar deste projeto, o estudante sob sua responsabilidade não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Ressalta-se que não é previsto nenhum risco ou desconforto ao seu (sua) filho (a) além dos quais ele (a) naturalmente estaria sujeito ao participar de uma atividade educacional coletiva como ficar cansado ou aborrecido ao responder questionários, sentir desconforto durante as gravações de áudio das discussões em sala de aula ou até mesmo ficar constrangido ao realizar uma atividade colaborativa com os demais colegas. Existe também o risco de quebra de sigilo involuntária e não intencional caso porventura houver furto ou extravio de computador ou dispositivos com

arquivos armazenados. Por isso, o pesquisador compromete-se a tomar todas as precauções para evitar ou minimizar quaisquer riscos. Salienta-se que ao participar do projeto, você estará contribuindo para a melhoria do ensino de física no país.

Como esta pesquisa será realizada dentro do ambiente escolar, caso seu filho (a) sofra algum acidente ou mal-estar durante sua realização, ele (a) será encaminhado (a) aos setores ou órgãos de assistência aos quais seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar durante qualquer outra atividade escolar. Caso seu filho (a) tenha alguma despesa adicional ou sinta-se lesado física ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação no projeto, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e indenização pelos danos sofridos.

Caso o Sr. (Sra.) perceba a necessidade de descontinuar a participação do seu (sua) filho (a) no projeto, informamos que esta solicitação poderá ser feita a qualquer momento através do contato anteriormente disponibilizado. O (A) estudante será esclarecido (a) sobre o projeto em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. Salienta-se que as atividades desenvolvidas fazem parte das aulas regulares da disciplina, assim, a não concordância com a participação no projeto não lhe isenta da realização das atividades propostas em sala de aula pelo pesquisador ou pelo professor. Sua participação é voluntária e a recusa em participar no projeto não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que você é atendido (a) pelo professor ou pelo pesquisador.

Os aspectos éticos desta pesquisa são regulamentados pela resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde e leis complementares, das quais o professor/pesquisador e seu orientador estão cientes e comprometem-se a seguir rigorosamente. O projeto de pesquisa, seus objetivos e metodologia, bem como este termo de consentimento livre e esclarecido, foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC), que pode ser contatado pessoalmente na rua Desembargador Vitor Lima 222, Prédio Reitoria II, 4o. andar, sala 401, Florianópolis, SC, pelo telefone (48) 3721-6094 e pelo e-mail cep.propesq@contato.ufsc.br. Este termo será assinado em duas vias, uma cópia ficará com o Sr. (Sra.) para eventuais consultas e a segunda cópia será arquivada pelo professor/pesquisador.

Pretende-se que este trabalho traga contribuições para o ensino de física possibilitando o desenvolvimento e avaliação de novas

metodologias que facilitem a aprendizagem. O pesquisador está a disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o projeto.

Declaração do estudante participante

Após a leitura deste termo, eu, _____ portador (a) do CPF: _____ declaro estar suficientemente informado (a) a respeito do trabalho “**A combinação de atividades experimentais e simulação para o ensino de dinâmica**”. Sei que a qualquer momento poderei solicitar novas informações, e o meu responsável poderá modificar a decisão de participar se assim o desejar. Tendo o consentimento do meu responsável, declaro que concordo em participar dessa pesquisa.

Estudante convidado e CPF

Declaração dos pais ou responsáveis

Após a leitura do termo anteriormente exposto, eu, _____, CPF nº: _____ declaro estar suficientemente informado (a) a respeito do projeto intitulado “**Uma combinação de atividades experimentais e simulação para o ensino de dinâmica**”. Declaro estar esclarecido acerca dos propósitos do trabalho, dos procedimentos que serão adotados, das garantias de confidencialidade e de que a qualquer momento posso pedir esclarecimentos. Afirmo ter conhecimento também da garantia por parte dos pesquisadores, de acesso à documentação referente ao trabalho, quando assim o desejar, e da possibilidade de retirada do meu consentimento de utilização das informações coletadas sem penalidades ou prejuízos. Declaro também ter recebido uma via original desse documento, rubricada em todas as páginas e assinada por mim e pelo pesquisador. Para finalizar, declaro concordar voluntariamente que meu filho(a):

_____ participe da coleta dos dados deste projeto.

Assinatura da mãe, pai ou responsável e CPF

Declaração do Pesquisador

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido do sujeito de pesquisa ou do representante legal, para a participação neste projeto. Comprometo-me a conduzir a pesquisa de acordo com o que preconiza a Resolução 466/12 de 12/06/2012, que trata dos preceitos éticos e da proteção aos participantes da pesquisa

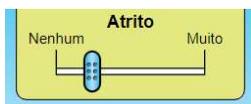
Pesquisador

Águas Mornas, ____ de _____ de 2017.

APÊNDICE C – Roteiro para atividade com simulação para discussão de força de atrito

Roteiro 1 - Aula 1 – Investigando a força de atrito com simulação

- 1) Inicie a atividade com as configurações iniciais do simulador. Clique nas caixas **Forças, Soma das forças, Valores, Massas e Velocidade**.
 - a) Aplique uma determinada força no caixote e verifique que aparecem duas forças na horizontal: a força aplicada e a força de atrito. Analise o que ocorre com o valor da força de atrito quando modificamos o valor da força aplicada.
 - b) A medida que você aumenta a força aplicada, o que acontece com a força de atrito?
 - c) Isso acontece sempre? Faça o teste iniciando com forças pequenas e vá aumentando.
 - d) Ao aumentar o valor da força aplicada, a força de atrito também aumentou. O valor máximo da força de atrito foi de
 - e) Quando o caixote começou a se movimentar, o que aconteceu com o valor da força de atrito? Qual foi seu novo valor?
 - f) Com o caixote em movimento, aumente e diminua o valor da força aplicada. O que aconteceu com o valor da força de atrito neste procedimento?
 - g) Mude o valor da força aplicada até que o valor da força resultante seja zero. O que acontece com o valor da velocidade quando o valor da força resultante é igual a zero?
- 2) Clique no botão que reinicia a simulação. Primeiro responda depois faça o teste: O que você deve fazer para que o caixote inicie o movimento? Justifique sua resposta e faça o teste com a simulação.
- 3) O que você deve fazer para aumentar a velocidade do caixote? E para diminuir? Justifique as suas respostas e faça o teste com a simulação.
- 4) Clique no botão que reinicia a simulação. Clique novamente nas caixas **Forças, Soma das forças, Valores, Massas e Velocidade**. Mude a barra denominada **Atrito**, diminuindo seu valor, como mostra a figura seguir.



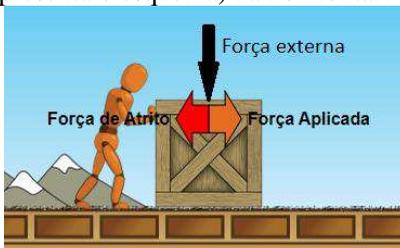
Aplique uma força de 50 N e vá aumentando de 1 N em 1 N. Qual é o valor máximo da força de atrito nesta situação? Qual fator influenciou nesta mudança?

- 5) Clique no botão que reinicia a simulação. Clique novamente nas caixas **Forças**, **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e **Velocidade**. Mude a barra denominada **Atrito**, diminuindo seu valor, como mostra a figura seguir.



Aplique uma força de 150 N e vá aumentando de 1 N em 1N. Qual é o valor máximo da força de atrito nesta situação? Qual fator influenciou nesta mudança?

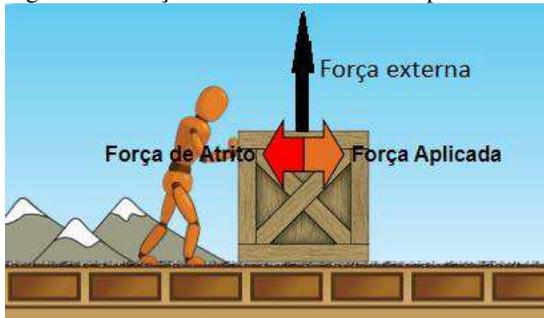
- 6) Clique no botão que reinicia a simulação. Clique novamente nas caixas **Forças**, **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e **Velocidade**. Adicione outro caixote em cima do que já está no plano. O que deve ocorrer com a força de atrito máxima? Como você explica isso? Faça o teste e verifique sua hipótese, comentando o resultado.
- 7) Reinicie novamente a simulação. Adicione duas caixas sobre a que já está no plano. E agora o que deverá ocorrer com a força de atrito máxima? Como você explica este fato? Faça o teste e verifique sua hipótese, comentando o resultado.
- 8) Experimento de pensamento: Se em vez de colocar os caixotes em cima do que já estava no plano, for aplicada uma força sobre o caixote de cima para baixo, o que ocorreria com a força de atrito máxima quando o caixote fosse empurrado (veja a figura que representa o esquema) na horizontal? Como você explica isso?



- 9) Da mesma forma, explique o que ocorreria com a força de atrito máxima, se fosse aplicada uma força de baixo para cima, tentando

levantar o caixote no momento que ele estava sendo empurrado para o lado (veja a figura a seguir).

Figura 24 - Força externa sendo exercida para cima no caixote



Fonte: O autor.

10) Quais os fatores que influenciam na força de atrito quando há movimento ou tendência de movimento?

APÊNDICE D – Roteiro para atividade investigativa sobre os fatores que influenciam a força de atrito.

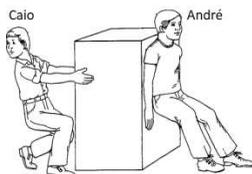
Roteiro 2 – Aula 2 - Investigação experimental sobre força de atrito

- 1) Como faremos para determinar o valor máximo da força de atrito estático utilizando o dinamômetro?
- 2) Cada equipe colocará o bloquinho preso por um gancho no dinamômetro e puxá-lo. O valor máximo da força de atrito estático corresponde ao valor máximo mostrado no dinamômetro. Cada equipe deverá determinar o valor desta força. Para isso, faça o experimento.
- 3) O que deverá acontecer com o valor da força de atrito máxima quando for colocado um objeto sobre o bloquinho quando este for puxado horizontalmente? Por que isto acontece?
- 4) Faça o teste e verifique sua hipótese. Qual o valor da força de atrito estática máxima encontrada? Ele é maior ou menor do que o valor encontrado na questão 2?
- 5) Aplique uma força com os dedos de cima para baixo sobre o bloquinho, mas não muito forte. Puxe-o com o dinamômetro e verifique o valor da força de atrito estática máxima encontrada. Qual foi o valor? O valor está de acordo com o previsto no questionário da aula anterior? O valor encontrado é maior, menor ou igual o valor encontrado na questão 2? Justifique sua resposta.
- 6) Faça o contrário agora, aplique uma força no bloquinho para cima, mas sem levantá-lo, de modo a diminuir o valor da força normal sobre o bloquinho. Puxe-o também na horizontal com o dinamômetro, e verifique o valor da força de atrito máxima. Qual foi o valor? Ele está de acordo com o previsto no questionário da aula anterior? O valor foi maior, menor ou igual o valor encontrado na questão 2? Justifique sua resposta.

APÊNDICE E – Atividades com equações da força de atrito

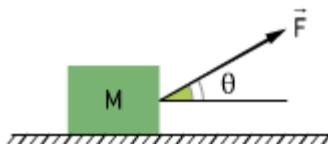
Questionário 1 – Aula 3 - Atividades com equações da força de atrito de atrito

- 1) Um bloco com massa de 20 kg encontra-se em repouso sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre a superfície e o bloco valem, respectivamente 0,5 e 0,4. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.
 - a) Aplica-se no bloco uma força de intensidade 90 N, paralela a superfície apoio. O bloco entra em movimento? Qual o valor da força de atrito no bloco?
 - b) Se a força aplicada for 110 N, o bloco entra em movimento? Qual o valor da força de atrito nesta situação?
- 2) Dois amigos, Caio e André estão tentando arrastar juntos, uma caixa de 400 kg, inicialmente em repouso sobre uma superfície plana e horizontal. O coeficiente de atrito estático entre a caixa e o solo vale 0,4. Caio puxa para a esquerda com uma força horizontal e constante de intensidade 500 N. Ao mesmo tempo, André empurra a caixa para a esquerda com uma força também horizontal.



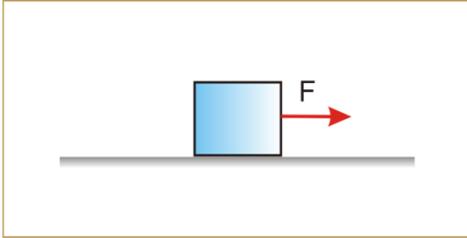
Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, qual deve ser a força mínima que André deve aplicar para a caixa iniciar o deslizamento?

- 3) Um bloco de massa $M = 10 \text{ kg}$, sob ação de uma força F de módulo 30 N, movimentando-se com velocidade constante sobre uma superfície horizontal rugosa, conforme mostra a figura.



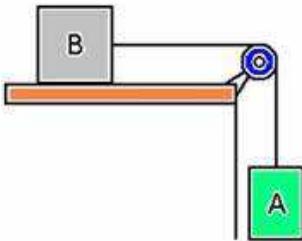
Sabendo-se que $\sin\theta = 0,6$ e $\cos\theta = 0,8$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco e a superfície de apoio.

- 4) O bloco da figura tem massa igual a 8 kg e repousa sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco e a superfície são, respectivamente $0,4$ e $0,3$. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Aplica-se ao bloco uma força motriz F . Determine a intensidade da força de atrito que atua sobre o bloco, nos seguintes casos:

- $F = 0$
 - $F = 10 \text{ N}$
 - $F = 50 \text{ N}$
 - $F = 80 \text{ N}$
- 5) Para iniciar o movimento de um bloco de massa igual a 10 kg , apoiado num plano horizontal e rugoso, é necessário uma força horizontal de intensidade maior que 60 N (60 N é a força necessária para deixá-lo na eminência de se mover). Para mantê-lo em movimento com velocidade constante, é necessário uma força de intensidade 40 N . Determine os coeficientes de atrito estático e dinâmico. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$.
- 6) No esquema a seguir, o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco A e o plano horizontal vale $0,2$. A massa do bloco A é igual a 3 kg . Sabendo-se que os blocos movem-se com velocidade constante, calcule a força de atrito sobre o bloco A.



- 7) Um aluno dedicado possui dois tênis (A e B) e deseja saber qual deles oferece maior resistência ao escorregamento quando estiver usando. Para isso, ele mediu a massa de cada um dos tênis e chegou aos valores: Massa do tênis A igual a 200 g e massa do tênis B igual a 300 g. Ele apoiou os dois tênis sobre uma mesma superfície horizontal e usando um dinamômetro, puxou cada um dos tênis separadamente até que eles iniciassem o movimento. Ele percebeu que o tênis A começou a se mover com uma força de intensidade maior que 1,6 N e o tênis B começou a se mover com uma força de intensidade maior que 1,8 N. Tendo estes valores, ele determinou o coeficiente de atrito estático de cada tênis. Sabendo que ele fez os cálculos corretamente, quais foram os valores encontrados? Qual tênis é mais escorregadio para este aluno? Justifique sua resposta.

APÊNDICE F – Roteiro para atividade com simulação para discutir primeira lei de Newton

Roteiro 3 – Aula 4 – Investigação sobre primeira lei de Newton com simulação

- 1) Utilize o simulador no modo **atrito**. Clique nas caixas **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e em **Velocidade**, para poder analisar o valor destas grandezas.
- 2) Mude o valor do atrito, colocando-o no máximo. Aplique uma força no caixote até que ele atinja uma velocidade de 20 m/s. Neste momento reduza a força aplicada até zero e responda:
 - a) A velocidade do caixote diminui muito rápido ou devagar?
 - b) Como você explica este fato?
 - c) Qual foi o valor da força resultante? A força resultante foi no sentido do movimento ou no sentido oposto?
- 3) Assim como você fez no item anterior, mude o valor do atrito para um valor médio. Aplique uma força no caixote até que ele atinja a velocidade de 20 m/s. Neste momento, reduza a força aplicada até zero e responda:
 - a) Neste novo caso, a velocidade do caixote diminuiu da mesma forma? Qual foi a mudança?
 - b) Como você explica esta mudança?
 - c) Qual foi o valor da força resultante? A força resultante foi no sentido do movimento ou no sentido oposto?
- 4) Mude novamente o valor do atrito, diminuindo ao máximo. Aplique uma força no caixote até que ele atinja a velocidade de 20 m/s. Neste momento, reduza a força aplicada até zero e responda:
 - a) O que acontece com a velocidade do caixote?
 - b) Como você explica este fato?
 - c) Qual o valor da força resultante nesta situação?
- 5) Mude o valor do atrito pra um valor médio. Aplique uma força no caixote até que ele atinja uma velocidade próxima de 20 m/s. Neste momento, reduza o valor da força aplicada até que ela seja igual a força de atrito.
 - a) O que acontece com a velocidade do caixote?
 - b) Como você explica este fato?
 - c) Qual o valor da força resultante nesta situação?

APÊNDICE G – Questionário sobre primeira lei de Newton

Questionário 2 – Aula 4 - Atividades sobre primeira lei de Newton

- 1) Um jogo muito badalado na área de jogos de um shopping é o *Air Hockey*, que consiste de uma mesa cheia de furos no qual sai uma corrente de ar, um disco de hockey e dois objetos que são utilizados para os participantes atingirem o disco. Neste jogo, os participantes ficam um de cada lado da mesa com o objetivo de fazer um “gol” arremessando o disco até o outro lado da mesa. Percebe-se que o disco arremessado movimenta-se com velocidade praticamente constante de um lado a outro da mesa.

Responda as questões a seguir.

- a) Com base na discussão realizada como você explica o jogo funcionar perfeitamente.
- b) Qual lei física está envolvida no movimento do disco após ele ser lançado por um dos participantes do jogo? Faça uma discussão dos conceitos envolvidos.
- 2) O uso do cinto de segurança é obrigatório no Brasil, inclusive para os passageiros do banco de trás do veículo. Em uma colisão, os passageiros são “arremessados” para frente do veículo. Para evitar que o passageiro ou o motorista colidam com o painel ou para-brisa do carro, é utilizado o cinto de segurança. Explique este fato, com base nas discussões realizadas em sala.
- 3) (FUND. CARLOS CHAGAS) Uma folha de papel está sobre a mesa do professor. Sobre ela está um apagador. Dando-se, com violência, um puxão horizontal na folha de papel, esta se movimenta e o apagador fica sobre a mesa. Uma explicação aceitável para a ocorrência é:

JUSTIFIQUE SUA ESCOLHA.

- a) nenhuma força atuou sobre o apagador;
- b) a resistência do ar impediu o movimento do apagador;
- c) a força de atrito entre o apagador e o papel só atua em movimentos lentos;
- d) a força de atrito entre o papel e a mesa é muito intensa;
- e) a força de atrito entre o apagador e o papel provoca, no apagador, uma aceleração muito inferior à da folha de papel.

- 4) Ao empurrarmos uma mesa, ela se movimenta com velocidade constante. Sobre este movimento, podemos afirmar que:
JUSTIFIQUE SUA ESCOLHA.
- a) A força aplicada é maior que a força de atrito.
 - b) A força resultante é zero.
 - c) A força de atrito é maior que a força aplicada.
 - d) Não há força de atrito atuando.
- 5) Quando estamos dentro de um ônibus em movimento, também estamos em movimento em relação ao solo. O que poderá ocorrer com nosso corpo se saltarmos de um ônibus em movimento?
- 6) É necessário a ação de uma força para manter um corpo em movimento?
- 7) Um objeto em movimento recebe a ação de uma força de intensidade 50 N na mesma direção e sentido do movimento. Neste momento, a intensidade da força de atrito também é de 50 N. O que ocorre com a velocidade deste objeto? Como você explica isto?

APÊNDICE H – Roteiro para atividade com simulação para discussão da segunda lei de Newton

Roteiro 4 – Aula 5 – Investigação sobre segunda lei de Newton com simulação

- 1) Utilize o simulador no modo **Movimento**. Clique nas caixas **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e em **Velocidade**, para poder analisar o valor destas grandezas.
- 2) Escolha uma massa para realizar o experimento (pode ser um caixote, o lixeiro, o homem, etc) e anote o valor da massa na tabela. Use a mesma massa neste procedimento e preencha as 3 linhas da tabela seguinte.
- 3) Use um cronômetro para medir um intervalo de tempo que a força está sendo aplicada. A força aplicada primeiramente deve ser de 50 N. Inicie a simulação no mesmo momento que iniciar o cronômetro e pare o cronômetro no mesmo momento que parar a simulação. Anote na tabela a seguir os valores da velocidade inicial, velocidade final e intervalo de tempo verificados. Calcule a aceleração e preencha a tabela. Na sequência altere a força aplicada para 100 N e repita o procedimento anterior, e novamente para 150 N, preenchendo a tabela.

Massa (kg)	Velocidade inicial (m/s)	Velocidade final (m/s)	Intervalo de tempo (s)	Aceleração (m/s ²)	Força aplicada (N)
					50 N
					100 N
					150 N

- 4) Qual é a relação que você pode verificar entre a força aplicada e a aceleração do carrinho quando a massa é mantida constante?

- 5) Repita o procedimento anterior, mas desta vez escolha uma força aplicada (pode ser 50 N, 100 N, 150 N, etc) e preencha as 3 linhas da tabela. Use os valores de massa descritos na tabela. Use um cronômetro e repita o procedimento usado para preencher a tabela anterior.

M assa (kg)	Vel ocidade inicial (m/s)	Ve locidade final (m/s)	In tervalo de tempo (s)	Ace leração (m/s ²)	F orça aplicada (N)
50 kg					
100 kg					
150 kg					

- 6) Qual é a relação que você pode verificar entre a massa do caixote e a aceleração do carrinho quando a força aplicada é mantida constante?
- 7) Analisando as duas tabelas, qual a relação matemática entre força aplicada, massa e aceleração?
- 8) Use o simulador no modo **atrito**. Clique nas caixas **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e em **Velocidade** para poder analisar os valores destas grandezas. Use primeiramente o caixote de 50 kg, para preencher corretamente a tabela seguinte.
- 9) Aplique uma determinada força no caixote de modo que a força resultante seja maior que 50 N e o carrinho entre em movimento. Quando o carrinho já estiver em movimento, clique em pause. Anote os valores de força aplicada, força de atrito, força resultante e velocidade inicial (neste caso a velocidade inicial não será igual a zero como foi anteriormente). Use um cronômetro para medir um intervalo de tempo que a força está sendo aplicada. Inicie o movimento do carrinho e ao mesmo tempo inicie o cronômetro, após alguns segundos, pare o cronômetro no mesmo momento que parar a simulação. Anote na tabela a seguir os valores da velocidade final e intervalo de tempo verificado. Calcule a aceleração e preencha a tabela. Na sequência altere a massa para 100 kg e repita o procedimento anterior de modo que a força resultante seja a mesma, e novamente para 150 kg, preenchendo a tabela.

M assa (kg)	V elocid ade inicial (m/s)	V elocid ade final (m/s)	I nterval o de tempo (s)	A celeraç ão (m/s ²)	F orça aplicad a (N)	F orça de atrit o (N)	F orça resultant e (N)
5 0 kg							
1 00 kg							
1 50 kg							

- 10) Qual é a relação que você pode verificar entre a massa do caixote e a aceleração do carrinho? Você consegue relacionar com a tabela preenchida no item 5 e as respostas dos itens 6 e 7?
- 11) Reinicie a simulação. Clique nas caixas **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e em **Velocidade** para poder analisar os valores destas grandezas.
- 12) Nesta nova situação vamos realizar os experimentos apenas com a massa de 50 kg. Repita o procedimento usado anteriormente. A única diferença é que agora a massa deve ser mantida constante e a força aplicada deve ser a que está na tabela. Aplique uma força de 150 N e clique em pause quando o carrinho já estiver em movimento. Anote os valores da velocidade inicial, força de atrito e força resultante. Use um cronômetro para medir um intervalo de tempo que a força está sendo aplicada. Inicie o movimento do carrinho e ao mesmo tempo inicie o cronômetro, após alguns segundos, pare o cronômetro no mesmo momento que parar a simulação. Anote na tabela a seguir os valores da velocidade final e intervalo de tempo verificado. Calcule a aceleração e preencha a tabela.

Massa (kg)	V_{inicial} (m/s)	V_{final} (m/s)	Intervalo de tempo (s)	Aceleração (m/s ²)	Força aplicada (N)	Força de atrito (N)	Força resultante (N)
50 kg	5				150 N		
50 kg	5				200 N		
50 kg	5				250 N		

- 13) Pode-se verificar que a aceleração aumentou quando aumentamos a força aplicada. Agora pense e responda: a aceleração é proporcional à força aplicada ou à força resultante?
- 14) Qual a relação que podemos obter entre a força resultante, a massa e a aceleração?
- 15) Você consegue relacionar esta atividade com a realizada nos itens 6 e 7? De que forma?
- 16) No simulador, há um objeto (uma caixa) que não é informado sua massa. Usem a relação discutida para calcular a massa da mesma, após escolher uma força aplicada e calcular a aceleração do carrinho.
- 17) Nesta atividade, vamos calcular o coeficiente de atrito estático e cinético de três objetos distintos. Para calcular o coeficiente de atrito estático, precisamos conhecer a massa, para calcular a força normal e a força de atrito estática máxima. Para medir a força de atrito cinética, precisamos da força de atrito cinética, para isso temos que aplicar no objeto uma força de modo que o objeto entre em movimento. Faça isso com três objetos diferentes:

Obs: os três objetos devem ter massas distintas.

- a) Objeto 1 (Escreva aqui qual objeto você usou):

Massa:

Força de atrito estática máxima:

Força de atrito cinética:

Coefficiente de atrito estático:

Coefficiente de atrito cinético:

- b) Objeto 2:

Massa:

Força de atrito estática máxima:

Força de atrito cinética:

Coeficiente de atrito estático:

Coeficiente de atrito cinético:

c) Objeto 3:

Massa:

Força de atrito estática máxima:

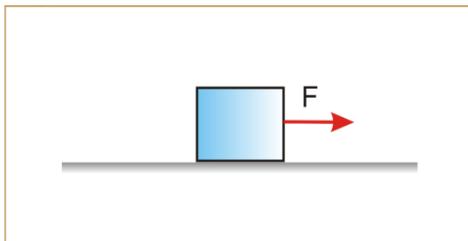
Força de atrito cinética:

Coeficiente de atrito estático:

Coeficiente de atrito cinético.

APÊNDICE I – Atividades sobre segunda lei de Newton**Questionário 3 – Aula 6 - Aplicação da equação da segunda lei de Newton**

- 1) Uma força horizontal, de intensidade 6 N, com sentido para leste age sobre uma mesa de massa 12 kg. Desprezando a força de atrito, determine o valor da aceleração da mesa.
- 2) Duas forças horizontais, de módulos $F_1 = 20$ N e $F_2 = 45$ N, agem ao mesmo tempo sobre uma mesa de massa 5 kg.
 - a) Faça um esquema representando a situação.
 - b) Se as duas forças têm mesma direção e sentido para leste, qual é o valor, a direção e o sentido da aceleração? Dica: Antes de aplicar a segunda lei de Newton, calcule a força resultante.
 - c) Se a força F_1 tem sentido para o leste e a força F_2 para oeste, qual é o valor, a direção e o sentido da aceleração?
- 3) O bloco da figura tem massa igual a 10 kg e repousa sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco e a superfície são, respectivamente 0,4 e 0,3. Dado $g = 10$ m/s².



Aplica-se ao bloco uma força motriz F . Determine a aceleração do bloco se intensidade da força F for:

- a) 10 N
- b) 50 N
- c) 70 N
- 4) Forças de 30 N são aplicadas, separadamente, em dois objetos diferentes, A e B, que passam a ter acelerações iguais a 5 m/s² e 6 m/s², respectivamente.
 - a) Qual deles possui maior massa?
 - b) Faça os cálculos e comprove sua previsão.

- 5) O quadro a seguir fornece os valores da força aplicada sobre uma caixa, a partir do repouso, e da aceleração obtida.

Força (N)	12	24	72	120
Aceleração (m/s ²)	2,5	5,0	15,0	25,0

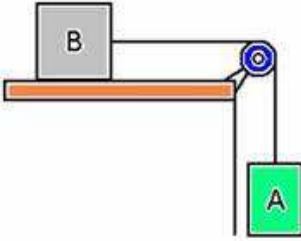
Qual é o valor da massa do carrinho?

- 6) Um carrinho varia sua velocidade, de 3 m/s até 6,6 m/s em um intervalo de tempo de 3 s. Sendo sua massa de 2 kg, determine o valor da força aplicada que produziu essa variação. Dica: Calcule primeiramente a aceleração do carrinho usando a equação: $a = \frac{v-v_0}{t}$
- 7) Um veículo de massa 900 kg, acelera e varia sua velocidade de 0 a 72 km/h em 5 s. Nestas condições, determine:
- A aceleração do carro.
 - A força resultante atuando no carro.
- 8) Um bloco de 5 kg está apoiado sobre uma superfície horizontal e em repouso. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco e a superfície são, respectivamente 0,5 e 0,3. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$. Calcule a aceleração deste bloco caso ele seja puxado horizontalmente por uma força de intensidade
- 15 N.
 - 50 N.

APÊNDICE J – Roteiro para atividade experimental num plano horizontal com atrito

Roteiro 5 – Aula 7 – Atividade experimental num plano horizontal com atrito

- 1) Meça as dimensões do bloquinho, e calcule a área de cada uma das 3 superfícies:
Área maior:
Área média:
Área menor:
- 2) Com o plano na horizontal, coloque um bloquinho de madeira sobre o plano, e use o dinamômetro para puxar o bloquinho. Puxe devagar para poder verificar qual o valor da força máxima necessária para fazer o bloco se mover. Anote este valor da força máxima. Meça a massa do bloquinho e calcule o valor do coeficiente de atrito estático entre o bloquinho e a superfície.
Área apoiada:
Massa do bloquinho:
Força máxima aplicada:
Força de atrito estática:
Coeficiente de atrito estático:
- 3) Repita o procedimento anterior, mas agora vire o bloco para que uma superfície de tamanho diferente seja apoiada sobre o plano.
Área apoiada:
Massa do bloquinho:
Força máxima aplicada:
Força de atrito estática:
Coeficiente de atrito estático:
- 4) Houve diferença nos coeficientes de atrito calculados anteriormente? Justifique sua resposta.
- 5) Agora você irá determinar o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco e a superfície. O esquema a seguir mostra como será realizada nossa atividade.



- 6) Primeiramente vamos analisar quais as forças que agem nos blocos (discutir quais as forças que agem nos blocos na figura acima). Como nosso foco é determinar o coeficiente de atrito entre o bloco B e a superfície, vamos focar neste bloco. As forças que agem são: força de tração na corda e força de atrito na horizontal; força peso e força normal na vertical. Estas duas últimas se anulam. Na horizontal teremos:

$$\text{Bloco B: } T - Fa = M_B \cdot a$$

$$\text{Isolando a força de atrito, chegamos a: } Fa = T - M_B \cdot a$$

- Precisamos do valor da tensão para determinar o valor da força de atrito. Para isso, usamos as relações para o bloco A:

$$\text{Bloco A: } P_A - T = M_A \cdot a$$

Isolando o T:

$$T = P_A - M_A \cdot a$$

Agora que já sabemos as equações para determinar o valor da força de atrito, precisamos calcular também a aceleração. Faremos isto fazendo a filmagem e usando um valor de deslocamento e intervalo de tempo correspondente.

- 7) Posicione o carrinho como mostra o esquema anterior. Inicie a filmagem antes de soltar o carrinho. Ao terminar a filmagem analise o vídeo no aplicativo Kinemaster anote os dados a seguir. Importante: o instante inicial corresponde ao momento que o bloquinho inicia o movimento e o instante final o momento que o carrinho chega ao final do plano.

Massa pendurada:

Massa do bloquinho puxado:

Área de contato do bloquinho puxado:

S(m)	t(s)

$\Delta S =$

t =

Aceleração:

Tensão na corda:

Força de atrito dinâmica:

Coefficiente de atrito dinâmico:

- 8) Repita o procedimento anterior mas com o bloquinho virado de modo que a área de contato seja diferente.

Massa pendurada:

Massa do bloquinho puxado:

Área de contato do bloquinho puxado:

S(m)	t(s)

$\Delta S =$

t =

Aceleração:

Tensão na corda:

Força de atrito dinâmica:

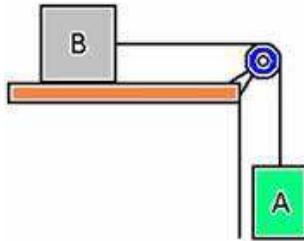
Coefficiente de atrito dinâmico:

- 9) Qual a conclusão você pode chegar a respeito do coeficiente de atrito dinâmico e a área de contato do bloco com o plano?

APÊNDICE K- Roteiro para atividade experimental num plano sem atrito

Roteiro 6 – Aula 8 - Atividades experimental num plano horizontal sem atrito

- 1) O esquema a seguir mostra como será realizada nossa atividade.



- 2) Use a câmera do celular para fazer a filmagem do movimento do carrinho. É necessário ainda que o celular tenha instalado o aplicativo *Kinemaster* para a análise do vídeo. Será analisado o movimento de três carrinhos de massas distintas. Prenda os carrinhos, um a um como mostra o esquema anterior. Solte o sistema no momento que já tiver iniciado a filmagem. Analise o vídeo em câmera lenta e anote os dados referentes a posição e instante para cada um dos três carrinhos. **IMPORTANTE:** o instante inicial corresponde ao momento que o carrinho inicia o movimento.

S(m)	t(s)

Carrinho pequeno

$\Delta S =$

t =

S(m)	t(s)

Carrinho médio

 $\Delta S =$

t =

S(m)	t(s)

Carrinho grande

 $\Delta S =$

t =

- 3) Com o deslocamento e o intervalo de tempo encontrado na tabela acima, calcule a aceleração de cada carrinho usando a equação $\Delta S = v_o \cdot t + \frac{at^2}{2}$
- 4) Preencha a tabela seguinte com os dados que estão faltando

Deslocamento (m)	Tempo (s)	Aceleração (m/s ²)	M ₁ (kg)	M ₂ (kg)	M ₃ (kg)	F (N)

- 5) A relação de proporcionalidade entre força, massa e aceleração é verificada neste experimento? Justifique sua resposta.
- 6) Nesta atividade, vamos manter o mesmo carrinho nos três movimentos. Vamos variar apenas a massa pendurada. Desta forma, a força que faz o carrinho se mover é maior. O que você espera que acontece com a aceleração do carrinho quando aumentamos a massa pendurada?

- 7) Faça a filmagem como na atividade anterior e preencha as tabelas a seguir com as informações de posição e instante. Não se esqueça que o instante inicial corresponde ao momento que o carrinho inicia o movimento.

S(m)	t(s)

Massa pequena

$$\Delta S =$$

$$t =$$

S(m)	t(s)

Massa pequena

$$\Delta S =$$

$$t =$$

S(m)	t(s)

Massa grande

$$\Delta S =$$

$$t =$$

- 8) Use a equação da questão 3 e calcule novamente a aceleração do carrinho, preenchendo novamente a tabela.

APÊNDICE L – Roteiro para atividade com simulação para discussão do plano inclinado

Roteiro 7 – Aula 9 – Atividade sobre plano inclinado com simulação.

- 1) Analisando o plano horizontal: Utilize o simulador nas configurações iniciais. Insira o valor de 200 N para a força aplicada (F_a) pelo homem, aperte o botão de gravar e iniciar, então, observe, descreva e explique o que acontece.
- 2) Mude o objeto empurrado. Agora faça o mesmo experimento mas com o arquivo, de massa 50 kg. Observe e explique o que acontece.
- 3) Mude novamente o objeto, colocando sobre o plano o Totó, aplicando a mesma força de 200 N. Observe e explique o que acontece. Justifique sua resposta.
- 4) Utilizando a expressão matemática da máxima força de atrito estática, calcule o valor da força a ser aplicada pelo homem para colocar o objeto na eminência de movimento. Faça isso com os três objetos anteriores:
 - a) Caixote
 - b) Arquivo
 - c) Totó
- 5) Adote uma força aplicada pelo homem acima do valor encontrado no item anterior e verifique, clicando no botão iniciar que libera a animação e inicia a gravação, se, de fato, o simulador passa a representar o objeto em movimento. Faça isso para os três objetos. Escreva nos itens a seguir o resultado encontrado.
 - a) Caixote
 - b) Arquivo
 - c) Totó
- 6) Represente as forças que atuam sobre o corpo. Como você faria para determinar a força resultante que atua sobre o objeto empurrado? Qual é o seu valor? Calcule a força resultante para cada objeto. (Dica: agora o objeto está se movimentando, então qual o coeficiente de atrito que se deve usar?)
 - a) Caixote
 - b) Arquivo
 - c) Totó
- 7) Esta atividade será realizada com o caixote. Uma vez em movimento sob a ação da força aplicada usada no item anterior, o

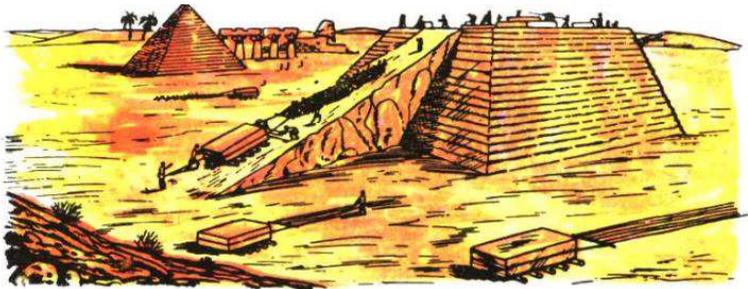
caixote começará a subida na rampa. Ao longo desta subida, quais forças agem contrariamente à força aplicada pelo homem? Quais os valores destas forças, bem como os valores da força resultante e da aceleração que caracterizam o movimento do caixote nesta subida?

- 8) Recoloque o sistema em sua configuração inicial. Altere a inclinação da rampa para 20° e posicione o caixote sob a rampa. Após este posicionamento, não aplique força no caixote. Nesta situação, quais as forças que atuam no caixote. Determine seus valores, assim como os valores das componentes x e y do peso.
- 9) A partir da inclinação de 20° , aumente gradualmente a inclinação e descubra qual o ângulo que deixa o caixote na situação de iminência de movimento (para tanto, o botão iniciar precisa estar ativado). Use este ângulo para calcular o valor do coeficiente de atrito estático e compará-lo com o valor indicado pelo simulador.
- 10) Recoloque o sistema em sua configuração inicial, posicione o caixote em algum lugar sob a rampa (anote a posição escolhida), pare de aplicar a força e inicie a simulação. Nesta situação, qual o valor da força resultante atuante sobre o caixote enquanto ele desce a rampa?
- 11) Uma vez em movimento sob atuação desta força resultante, qual o valor da aceleração do caixote e com que velocidade ele chega ao final da rampa?

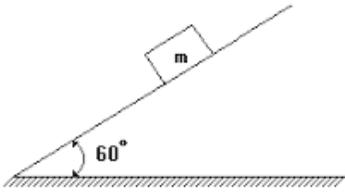
APÊNDICE M – Atividades sobre plano inclinado

Questionário 4 – Aula 9 – Atividades sobre força de atrito

- 1) Os egípcios já utilizavam o plano inclinado na construção das pirâmides há 4000 anos atrás. O que você pode afirmar a respeito da inclinação da rampa e a força aplicada pelos egípcios no transporte das enormes pedras da base da montanha à parte superior da mesma?



- 2) Um corpo de massa $m = 10 \text{ kg}$ está apoiado num plano inclinado de 30° em relação à horizontal, sem atrito, e é abandonado no ponto A, distante 20 m do solo. Supondo a aceleração da gravidade no local de módulo $g = 10 \text{ m/s}^2$, determinar:
- Dica: Primeiro faça um esquema para representar a situação e faça o diagrama de forças que agem no bloco.
- a) a aceleração com que o bloco desce o plano;
 - b) a intensidade da reação normal sobre o bloco;
 - c) o tempo gasto pelo bloco para atingir o ponto B;
 - d) a velocidade com que o bloco atinge o ponto B.
- 3) No plano a seguir sabe-se que o coeficiente de atrito estático vale 0,6 e o dinâmico vale 0,4, a massa na rampa mede 5 kg. Nesta situação, faça o que se pede.

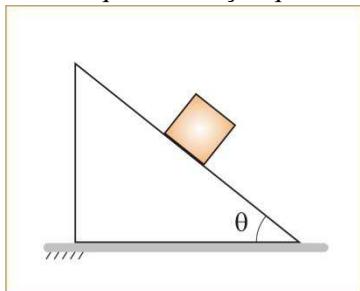


- a) Represente as forças que agem no bloco.
 - b) Calcule as componentes do peso do bloco.
 - c) Calcule a força resultante atuando no bloco.
- Determine a aceleração da caixa.

APÊNDICE N – Roteiro para atividade experimental num plano inclinado

Roteiro 8 – Aula 10 – Atividade experimental num plano inclinado

- 1) Escrevam quais as forças que atuam no bloco na seguinte situação:



Discutir com professor e alunos a resposta desta questão.

- 2) Vamos determinar o coeficiente de atrito estático num plano inclinado. Coloque o bloquinho sobre o plano inclinado. A partir deste momento use a filmadora do celular para filmar o que ocorre com o bloquinho. Vá aumentando a inclinação da rampa, devagar e verificando sempre o ângulo de inclinação até o momento que o bloco inicia o movimento de descida da rampa. Anote os valores a seguir e calcule os que forem necessários.

Área de contato do bloquinho com a rampa:

Massa do bloquinho:

Ângulo de inclinação da rampa:

Peso do bloquinho:

Componente P_x do peso:

Componente P_y do peso:

Força normal:

Força de atrito estática máxima:

Coeficiente de atrito estático:

- 3) Utilizando a filmagem e o aplicativo *Kinemaster*, use o deslocamento do bloco e o intervalo de tempo decorrido para calcular a aceleração do bloco.

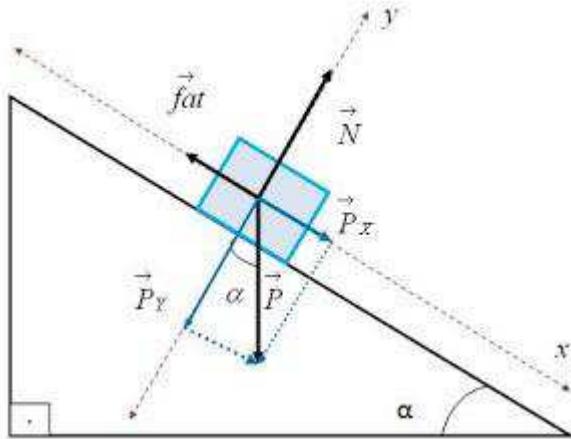
S(m)	t(s)

$\Delta S =$

$t =$

- 4) Sabemos que as forças que agem no bloco quando ele desce a rampa são mostradas na figura seguinte.

Figura 25 - Forças que agem em um bloco num plano inclinado



Fonte: <<https://alunosonline.uol.com.br>>. Acesso em 28/07/2018

Aplicando a 2ª lei de Newton, verificamos que:

$$P_x - F_{at} = m \cdot a$$

Isolando o valor da força de atrito, chegamos a:

$$F_{at} = P_x - m \cdot a,$$

onde m é a massa do bloco e “ a ” é a aceleração que ele desce a rampa.

Anote os dados a seguir e determine o valor da força de atrito dinâmica e o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco e a superfície.

Área de contato do bloquinho com a rampa:

Massa do bloco:

Aceleração:

Ângulo de inclinação:

Componente P_x :

Componente P_y :

Normal:

Força de atrito dinâmico (f_{at}):

Coeficiente de atrito dinâmico:

- 5) Repita os procedimentos realizados nas questões 11, 12 e 13 mas com o bloco virado de modo que a área de contato seja diferente.

Área de contato do bloquinho com a rampa:

Massa do bloco:

Ângulo de inclinação:

Componente P_x :

Componente P_y :

Normal:

Força de atrito estática máxima:

Coeficiente de atrito estático:

S(m)	t(s)

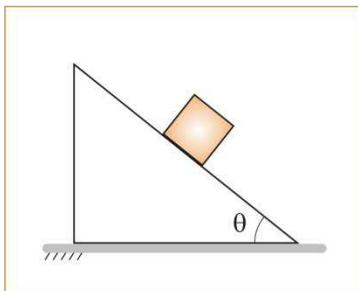
$\Delta S =$

t =

Aceleração:

Coeficiente de atrito dinâmico:

- 6) Os valores de coeficiente de atrito dinâmicos calculados anteriormente foram iguais ou diferentes? Qual o principal fator que influenciou nestes valores?
- 7) Neste momento, vamos fazer o estudo das forças que agem em um carrinho descendo um plano inclinado sem atrito. Desenhe na figura a seguir quais forças agem no carrinho quando ele está sobre o trilho de ar ligado.



- 8) Assim como fizemos no plano com atrito, será filmado e reproduzido em câmera lenta para podermos analisar as posições e os instantes que o carrinho passa por determinada posição para podermos determinar a aceleração do carrinho. Escolha uma inclinação, posicione o carrinho na parte superior do plano, inicie a filmagem e solte o carrinho. Anotem os valores na tabela seguinte.

S(m)	t(s)

$\Delta S =$

t =

- 9) Com os dados da tabela acima, calcule a aceleração do carrinho usando o mesmo método anterior.
- 10) Com o valor da aceleração calculada anteriormente, use a equação $a = g \cdot \sin\theta$ e determine o valor da aceleração gravitacional. Compare com o valor teórico ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$). Discuta o resultado encontrado (se foi parecido ou se foi diferente justifique o resultado encontrado).

APÊNDICE O – Primeira avaliação aplicada

Avaliação 1

Estudante:

Turma:

Data:

- 1) Na figura a seguir, Ana de camisa cinza, aplica uma força no carrinho para a esquerda, enquanto que Luiza, de camisa branca aplica uma força para a direita.

Figura 26 - Forças aplicadas em sentidos opostos

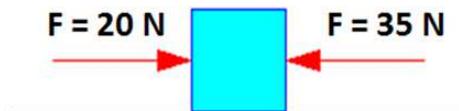


Fonte: Blog Físico-químico. Adaptado. Disponível em < <http://fisicoquimica-8ano.blogspot.com>>. Acesso em 15/05/2018

Explique o que poderá ocorrer com o carrinho se:

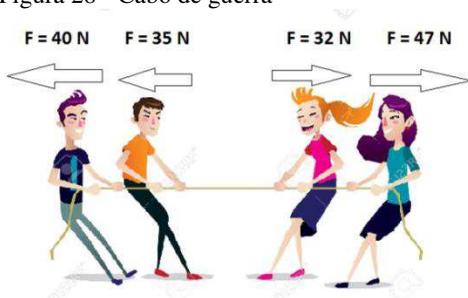
- A força resultante for nula.
 - A força resultante for diferente de zero.
- 2) Determine a direção, o sentido e o módulo da força resultante em cada caso a seguir:

Figura 27 - Diagrama de forças



Fonte: Blog Os Fundamentos da Física. Adaptado. Disponível em < <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com>>. Aceso em 15/05/2018.

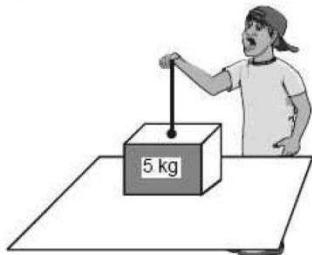
Figura 28 - Cabo de guerra



Fonte: iStocki. Adaptado. Disponível em <<https://www.istockphoto.com>>. Acesso em 15/05/2018.

- 3) Explique qual é a diferença entre massa e peso.
- 4) Um elevador de 2500 kg está parado no terceiro andar de um prédio, num local onde a aceleração gravitacional mede 10 m/s^2 . Determine:
 - a) O valor da força gravitacional exercida pela Terra sobre o elevador.
 - b) O valor da força que sustenta esse elevador enquanto ele permanece parado.
- 5) Sobre uma mesa há um bloco de massa 5 kg inicialmente em repouso. Neste momento, uma corda puxa este bloco verticalmente para cima com força de 40 N . Considerando $g = 10\text{ m/s}^2$, calcule o valor da força normal que a mesa aplica no bloco. Para facilitar represente as forças atuando no bloco.

Figura 29 - Força puxa bloco para cima



Fonte: Exercícios Brasil Escola. Disponível em <<https://exercicios.brasilecola.uol.com.br>>. Acesso em 15/05/2018.

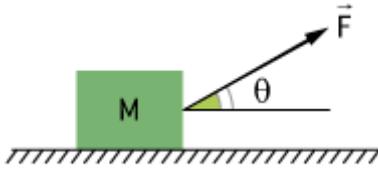
- 6) Três livros idênticos de massa 800 g cada, encontram-se em repouso sobre uma superfície horizontal (veja a figura a seguir). Qual é o módulo da força que o livro 2 exerce sobre o livro 1?

Figura 30 - Três livros empilhados



Fonte: Exercícios Brasil Escola. Disponível em <<https://exercicios.brasilecola.uol.com.br>>. Acesso em 15/05/2018.

- 7) O atrito sempre dificulta o movimento ou há alguma situação que ele é importante para acontecer um movimento? Pense e escreva situações para justificar sua resposta com base no que estudamos em sala.
- 8) Um objeto está em movimento em uma superfície horizontal. Para que este objeto permaneça em movimento retilíneo e uniforme, é necessário que:
- A força aplicada seja maior que a força de atrito
 - A força aplicada seja menor que a força de atrito
 - A força aplicada seja igual a força de atrito
 - A força de atrito seja nula e a força aplicada seja maior que zero.
- IMPORTANTE: JUSTIFIQUE POR QUE VOCÊ ESCOLHEU ESTA ALTERNATIVA.**
- 9) Um objeto está em movimento devido a ação de uma força de intensidade 50 N. Neste momento, a intensidade da força de atrito também é de 50 N. O que ocorre com a velocidade deste objeto? Como você explica isto? Justifique com base no que estudamos nas aulas.
- 10) Um bloco com massa $M = 20 \text{ kg}$, sob ação de uma força F de módulo 30 N, movimenta-se com velocidade constante sobre uma superfície horizontal, conforme mostra a figura.



Sabendo que $\text{sen}\theta = 0,6$ e $\text{cos}\theta = 0,8$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

- a) As componentes horizontal e vertical da força aplicada.
 - b) O valor da força normal atuando na caixa.
- 11) Justifique a necessidade das forças de atrito para que possamos caminhar, parar um veículo, escrever num papel.

APÊNDICE P – Segunda avaliação aplicada

Avaliação 2

Estudante:

Turma:

Data:

- 1) Uma pessoa idosa, de massa 68 kg, ao se pesar, o faz apoiada em sua bengala como mostra a figura.



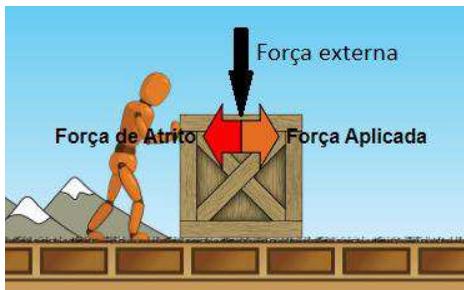
Com a pessoa em repouso, a leitura da balança é de 630 N.
Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Represente na figura, as forças que agem sobre a pessoa. Em seguida, informe quem aplica cada um das forças que você representou.
 - Calcule a força que a balança exerce sobre a pessoa e determine sua direção e seu sentido.
 - Calcule a força que o chão exerce sobre a bengala.
- 2) Experimento de pensamento: Inicialmente uma força é aplicada horizontalmente em um caixote. Neste momento surge a força de atrito. Veja a figura.

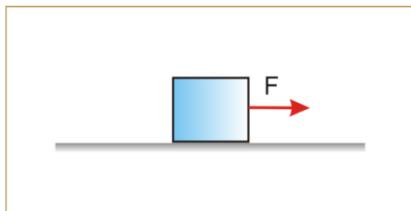


Se for aplicada uma força sobre o caixote de cima para baixo (veja a figura), o que ocorre com a força de atrito máxima quando o caixote for empurrado na horizontal?

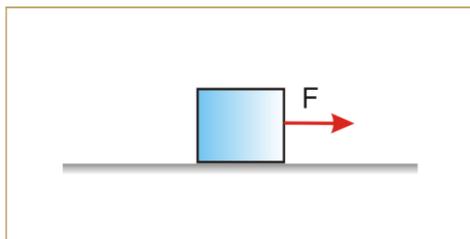
Como você explica isso?



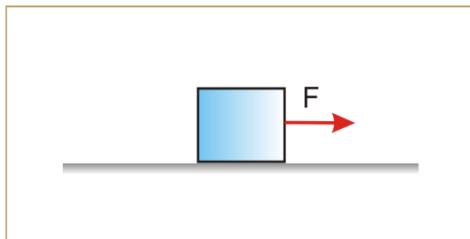
- 3) Qual é a importância da força de atrito em nossas vidas? Cite exemplos.
- 4) Um bloco com massa de 20 kg encontra-se em repouso sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre a superfície e o bloco valem respectivamente 0,5 e 0,4. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.
 - a) Aplica-se no bloco uma força de intensidade 90 N, paralela a superfície apoio. O bloco entra em movimento? Qual o valor da força de atrito no bloco? Represente as outras forças que agem no bloco.



- b) Se a força aplicada for 110 N, o bloco entra em movimento? Qual o valor da força de atrito nesta situação?



- 5) Imagine um bloco se movendo sobre uma superfície com atrito devido a ação de uma força horizontal F como mostra a figura. Represente na figura as outras forças que agem no bloco.



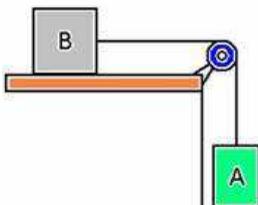
Explique o que ocorre com a velocidade deste corpo se a força aplicada for:

- Maior que a força de atrito.
 - Menor que a força de atrito.
 - Igual à força de atrito.
- 6) Um carrinho varia sua velocidade, de 3 m/s até 9,6 m/s em um intervalo de tempo de 2 s. Sendo sua massa de 8 kg, determine o

valor da força aplicada que produziu essa variação. Dica: Calcule primeiramente a aceleração do carrinho usando a equação:

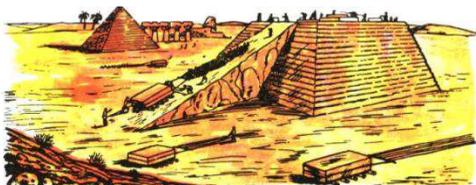
$$a = \frac{v-v_0}{t}$$

- 7) Você fez um experimento que consistia em determinar o valor do coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco B e a superfície que o apoia. Em um caso hipotético, suponha que a massa do bloco B seja de 400 g e a massa do bloco A seja de 300 g.

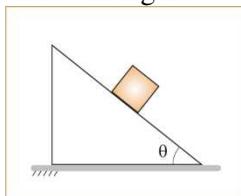


Neste caso hipotético, você determinou a aceleração dos blocos e encontrou um valor de 2 m/s^2 . Nesta situação, faça o que se pede.

- Represente na figura acima, as forças que agem nos blocos A e B.
 - Monte a fórmula da 2ª lei de Newton para cada um dos blocos.
 - Calcule a tensão na corda que liga os blocos.
 - Calcule a força de atrito que age no bloco B.
 - Calcule o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco B e a superfície.
- 8) Os egípcios já utilizavam o plano inclinado na construção das pirâmides há 4000 anos atrás. O que você pode afirmar a respeito da inclinação da rampa e a força aplicada pelos egípcios no transporte das enormes pedras da base da montanha à parte superior da mesma?



- 9) Fizemos um experimento no qual um bloco de madeira foi colocado sobre um plano inclinado. Aumentando a inclinação do plano, verificamos que para um ângulo de 45° o bloco ainda não havia se movido. Quando o ângulo foi aumentado para 46° , o bloco desceu o plano. O esquema que representa a atividade experimental está representado na figura.



Supondo a massa do bloco igual a 400 g, faça o que se pede.

- Represente no desenho acima, as forças que agem no bloco.
- Calcule o peso do bloquinho de madeira.
- Calcule a componente P_x do peso.
- Calcule a componente P_y do peso:
- Calcule a força normal.
- Calcule a força de atrito estática máxima.
- Calcule o coeficiente de atrito estático.

Em relação ao seu entendimento, a combinação de simulação e experimentos foi bom para seu aprendizado?

<input type="radio"/>								
Muito pouco		Pouco			Médio		Bastante	

Observações:

APÊNDICE Q – Produto Educacional

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO
DE FÍSICA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS

**UMA COMBINAÇÃO DE ATIVIDADES
EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÃO PARA O ENSINO DE
DINÂMICA**

Flávio Wiemes
Paulo Jose Sena dos Santos

**FLORIANÓPOLIS
2019**

Sumário

1	INFORMAÇÕES INICIAIS.....	235
2	Aula 1 - Força de atrito.....	241
3	Aula 2 - Força de atrito - Experimentos de força de atrito.....	248
4	Aula 3 - Força de atrito – Equações da força de atrito.....	254
5	Aula 4 - 1ª lei de Newton.....	259
6	Aula 5 - 2ª lei de Newton.....	266
7	Aula 6 - Aplicação da equação da segunda lei de Newton.....	274
8	Aula 7 - Atividade experimental sobre 2ª lei de Newton.....	276
9	Aula 8 - Atividade experimental sobre 2ª lei de Newton.....	281
10	Aula 9 - Aplicando os conceitos estudados em um plano inclinado.....	287
11	Aula 10 - Experimentos sobre plano inclinado.....	294
12	Considerações Finais.....	300
	REFERÊNCIAS.....	303

1 INFORMAÇÕES INICIAIS

Esta sequência didática trás uma possibilidade de abordar o conteúdo de força de atrito e leis de Newton utilizando recursos tecnológicos, como simulações e experimentos, para serem aplicados em uma turma do primeiro ano do Ensino Médio.

É necessário que os estudantes já tenham conhecimento de conceitos relacionados à forças, como: Força resultante¹⁴, força peso e força normal.

Para que os estudantes possam realizar as tarefas com o uso de simulações, é necessário que a escola tenha uma sala de informática com acesso à internet. Caso o acesso à internet não seja possível, será necessário que as simulações sejam baixadas em um computador com acesso à internet, para em seguida serem abertas em um navegador instalado no computador. Para o uso da simulação *Rampa: Forças e movimento*, o computador terá que ter instalado o Java.

Para uma das atividades propostas, é necessário a utilização de um trilho de ar. Os materiais necessários para a construção do trilho de ar são:

- 4 ripas de madeira plainada de dimensões 120 cm x 10 cm x 2 cm
- 28 parafusados de 3 cm de comprimento
- Cola de madeira
- Massa de madeira
- Lixas
- 2 pedaços de madeira de dimensões 15 cm x 7 cm x 2 cm para a base
- 10 cm de cano de 30 mm ou 40 mm de diâmetro.
- 1 soprador de ar (pode ser daqueles usados em pintura ou aspirador de pó usado na função soprar)
- Furadeira com brocas de 3 mm.

Para a construção dos 3 “carrinhos”, são utilizados:

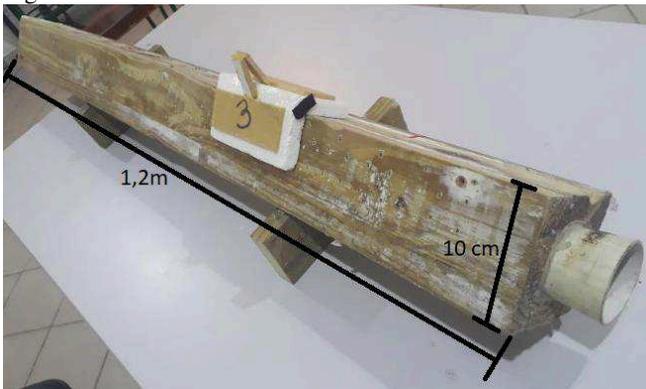
¹⁴ Sugere-se que esta discussão seja realizada com a simulação do PhET *Força e Movimento: Noções Básicas*. Disponível em <https://phet.colorado.edu>.

- 6 pedaços de isopor de dimensões 15 cm x 7 cm; 15 cm x 6 cm; 12 cm x 7 cm; 12 cm x 6 cm; 9 cm x 7 cm; 9 cm x 6 cm (todos com espessura de 1 cm)
- Cola de isopor;
- Plástico fino e rígido para o interior do “carrinho” (pode ser o encontrado nas pastinhas de guardar documentos)
- Compensados de 5 mm de espessura para colar nos carrinhos.

As 4 ripas de madeira devem ser coladas e parafusadas de modo a vedar completamente a saída de ar entre elas (ver Figura 31) formando um quadrado oco. Caso os parafusos fiquem saltados para fora da madeira, será necessário lixar para evitar que o carrinho fique preso ao passar por eles. Se a madeira tiver imperfeições ou os parafusos deixarem pequenos buracos, é necessário tapar com massa de madeira, e em seguida lixar, de modo a deixar o trilho o mais liso quanto possível.

Os furos devem ser realizados com o uso de uma furadeira e broca de 3 mm, espaçados em aproximadamente 2 cm, como mostra a Figura 32. Uma das extremidades do trilho deve ser completamente vedada com um pedaço de madeira, cola de madeira e massa. Na outra extremidade deve ser colocado um pedacinho de cano de 30 mm ou 40 mm, que encaixa na mangueira do soprador. O espaço entre o caninho e a madeira deve ser bem vedado para que não haja saída de ar. As bases do trilho são feitas com dois pedaços de madeira, cortados de modo que o trilho encaixe, sendo que suas superfícies mais próximas do chão formem ângulos de 45° com a superfície horizontal.

Figura 31 – Trilho de ar montado.



Fonte: O autor.

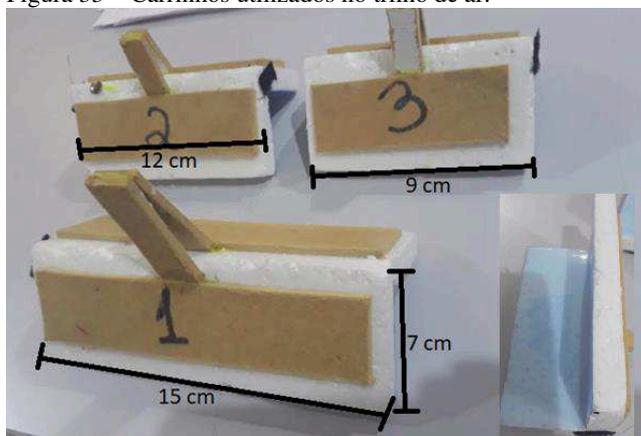
Figura 32 – Furos no trilho de ar.



Fonte: O autor.

Os “carrinhos” devem ser construídos unindo com cola de isopor, dois pedaços de isopor de mesmo comprimento (Figura 33), porém um precisa ter 1 cm (espessura do isopor) a menos de largura. Desta forma, o carrinho terá o mesmo tamanho dos dois lados. Para aumentar a massa, pedaços de compensados podem ser colados na superfície externa do carrinho. Neste caso, os dois pedaços devem ter a mesma massa, para que o carrinho fique em equilíbrio sobre o trilho. Na superfície interna, pedaços de plástico liso e rígido podem ser colados, para deixar a superfície lisa e plana. Caso seja de interesse do professor, poderá ser colado em cima do carrinho, mais dois pedacinhos de compensado, para poder segurar o carrinho ao ser manuseado no trilho de ar.

Figura 33 – Carrinhos utilizados no trilho de ar.



Fonte: O autor.

Depois de montado, é necessário verificar se os carrinhos estão correndo livremente sobre o trilho, e se este está completamente na horizontal. Se a base não estiver no nível, o carrinho se moverá espontaneamente para um dos lados. Caso o carrinho encoste em um dos lado do trilho, é necessário deixá-lo no nível para o carrinho correr livremente. Sabemos que o trilho está no nível correto quando o carrinho for colocado sobre o trilho e ele não se mover espontaneamente para nenhum dos lados, mas se movimentando com velocidade constante quando um mínimo impulso for dado no carrinho.

A construção dos outros aparatos será discutida no plano de aulas. A seguir é apresentado uma tabela com os conteúdos trabalhados na sequência de aulas.

Aula	Objetivos	Atividades realizadas
Aula 1 - Força de atrito	<ul style="list-style-type: none"> Investigar quais fatores influenciam a força de atrito Diferenciar atrito estático e cinético 	<ul style="list-style-type: none"> Busca das concepções espontâneas Atividade investigativa com uso da simulação do PhET <i>Forças e Movimento</i>
Aula 2 – Força de atrito - Experimentos de força de atrito	<ul style="list-style-type: none"> Investigar o papel da superfície na intensidade da força de atrito 	<ul style="list-style-type: none"> Atividade experimental com blocos de madeira e dinamômetro Análise e discussão de

	<ul style="list-style-type: none"> • Aprofundar os conhecimentos sobre força de atrito • Debater a importância da força de atrito 	vídeos que abordam a importância da força de atrito
Aula 3 – Força de atrito – Equações da força de atrito	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar as equações da força de atrito para situações diversas 	<ul style="list-style-type: none"> • Lista de exercícios teóricos que envolvem cálculos de força de atrito e coeficiente de atrito
Aula 4 - 1ª lei de Newton	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar os efeitos de diferentes forças sobre um objeto • Compreender a primeira lei de Newton 	<ul style="list-style-type: none"> • Busca das concepções espontâneas • Atividade investigativa com uso da simulação do PhET <i>Forças e Movimento</i> • Experimentos da toalha puxada e do CD com balão • Atividades teóricas sobre primeira lei de Newton
Aula 5 – 2ª lei de Newton	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar a relação entre as grandezas força resultante, massa e aceleração • Concluir que o produto da massa pela aceleração de um corpo é igual ao valor da força resultante 	<ul style="list-style-type: none"> • Introdução sobre as relações entre força resultante, massa e aceleração utilizando a simulação PhET <i>Forças e Movimento</i> • Aprofundamento das relações com uso da simulação
Aula 6 - Atividades sobre 2ª lei de Newton	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar a equação da segunda lei de Newton a diversas situações 	<ul style="list-style-type: none"> • Questionário com atividades que envolvem a reação $F=m.a$
Aula 7 – Atividade experimental sobre 2ª lei de Newton	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir a relação entre a força de atrito e a área de contato • Aplicar a segunda lei de Newton para um sistema de corpos num plano com atrito 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade experimental com plano horizontal com atrito, conjunto de blocos e dinamômetro

	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar o coeficiente de atrito estático e cinético entre o bloco e plano 	
<p>Aula 8 – Atividade experimental sobre 2ª lei de Newton</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar a segunda lei de Newton para um sistema de corpos num plano sem atrito • Observar e discutir a relação de proporcionalidade entre a força aplicada e a aceleração • Observar e discutir a relação inversamente proporcional entre a massa do corpo e a aceleração. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade experimental com plano horizontal sem atrito e conjunto de blocos
<p>Aula 9 - Aplicando os conceitos num plano inclinado</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Compreender a relação entre o ângulo de inclinação e a força necessária para empurrar um corpo para cima de uma plano inclinado • Discutir as forças que agem em um corpo num plano inclinado 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade com simulação do PhET <i>Rampa: Forças e Movimento</i>
<p>Aula 10 – Experimento sobre plano inclinado</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar o coeficiente de atrito estático e dinâmico entre um objeto e o plano • Aplicar na prática os conceitos discutidos na simulação 	<ul style="list-style-type: none"> • Experimento com plano inclinado com e sem atrito

2 Aula 1 - Força de atrito

Tempo estimado: 90 minutos.

Objetivos:

- Investigar quais fatores influenciam a força de atrito
- Diferenciar atrito estático e cinético

Nesta aula, iremos tratar apenas do caráter qualitativo da força de atrito, ou seja, analisar de quais fatores a força de atrito depende, quais situações o atrito dificulta um movimento e em quais situações o atrito é fundamental para acontecer um movimento.

Momento 1 – Introdução – 15 min

Dinâmica 1: Para buscar as concepções alternativas dos estudantes, iniciar com o seguinte experimento: lançar um objeto sobre uma mesa, esperar ele parar e perguntar aos estudantes: o que fez o objeto parar? As possíveis respostas são: por causa do atrito, porque acabou a força, porque ele bateu em alguma coisa. É de senso comum que muitos estudantes pensem que um corpo somente permanece em movimento porque existe uma força no mesmo sentido do movimento e quando a força cessa, o corpo para.

Para causar um conflito cognitivo no estudante e tentar quebrar com este conceito, os estudantes podem ser questionados: se um corpo só está em movimento porque há uma força, então quem está aplicando esta força? Se queremos que um corpo pare ou diminua sua velocidade, e necessário aplicar uma força no mesmo sentido do movimento ou no sentido oposto ao movimento?

Desenhar no quadro imagens de blocos sendo empurrados para a discussão do sentido da força aplicada para reduzir a velocidade de um corpo. O professor pode lembrar de alguns conceitos relacionados à força, como por exemplo: se queremos que um corpo parado se movimente para direita, é necessário aplicar uma força para direita, mas se um corpo já está em movimento para a direita e queremos que este corpo pare de se mover, é necessário aplicar uma força para a esquerda (sentido contrário ao movimento). Após os estudantes pensarem nestas respostas é importante comentar que quando lançamos um objeto, aplicamos força nele somente quando ele está em contato com nossa mão, então após ele deixar a mão, ele não possui força. Ele pode apenas receber uma força. Sobre a força de atrito (ou somente atrito) é importante conhecer o que eles sabem a respeito, então quando citarem esta opção, os estudantes podem ser convidados a falarem o que eles

sabem sobre esta força, para podermos trabalhar com mais detalhes este assunto.

Comentar com os estudantes que outras situações que envolvem o atrito aparecem quando queremos frear um carro, uma moto ou uma bicicleta. Ao apertar o freio, ocorre uma interação entre as pastilhas de freio e a roda e entre a roda e o chão. Esta interação faz com que o carro, a moto ou a bicicleta parem ou diminuam sua velocidade.

Para investigar sobre a força de atrito, deverá ser levado à sala, alguns materiais de rugosidades diferentes, como por exemplo: lixa grossa e fina, plástico, papel, borracha, etc. e estendê-los sobre a mesa. Pedir aos estudantes para esfregá-los de modo a conseguir responder a seguinte pergunta: Qual é mais áspero, ou seja, em qual você sente mais dificuldade de deslizar sua mão? Sabe-se que as superfícies tem papel fundamental na determinação da força de atrito. Há superfícies que permitem um fácil deslizamento e há superfícies que dificultam mais o deslizamento.

Ao fazer as atividades e responder as perguntas, espera-se que os estudantes percebam que alguns materiais oferecem mais resistência ao movimento do que outros. Comentar com os estudantes que estas são algumas características da força de atrito. A força de atrito é sempre oposta ao sentido do deslizamento entre as superfícies. As situações discutidas até o momento envolviam a força de atrito. Na primeira situação, o objeto parou porque houve a força de atrito que o impediu de continuar deslizando. No caso do funcionamento do freio, a força de atrito acontece entre as pastilhas e a roda e entre a roda e o chão.

Momento 2 – Investigando a força de atrito utilizando a simulação – 75 min

Nesta investigação será utilizada a simulação do PhET denominada *Forças e Movimento: Noções Básicas*, (disponível no link https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics). A Imagem 4 mostra a tela inicial desta simulação no modo **Atrito**.

Figura 34 – Simulação para estudo de força de atrito.



Fonte: O autor.

A discussão deverá ser realizada primeiro com o auxílio da simulação e depois com o experimento. Esse pensamento se deve a hipótese de que o estudante “aproveita melhor” a atividade experimental – relaciona a teoria com os resultados do experimento – se a simulação é executada primeiro.

Dinâmica 2: Primeiramente, o professor deverá fornecer as informações básicas para que o estudante consiga manipular a simulação sem dificuldades. É necessário mostrar aos estudantes como aumenta e diminui a força clicando nos botões para esquerda e para a direita. Um dos botões aumenta/diminui a força de 1 N em 1 N e outro botão aumenta/diminui a força de 50 N em 50 N. Para verificar os valores das massas dos objetos, assim como da força aplicada e da velocidade do objeto, devemos clicar nas caixas **Forças**, **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e **Velocidade**. Comentar neste momento sobre os valores que aparecem na tela. Para acrescentar mais objetos em cima do carrinho, ou trocar de objeto, basta clicar em cima do objeto desejado e arrastá-lo até a superfície do carrinho ou tirá-lo e colocá-lo na caixa abaixo. Deverá ser feito também um comentário sobre a barra de atrito posicionada do lado direito da tela. Para que os estudantes entendam que é esta barra, deverá ser feito uma relação com a atividade realizada no início da aula onde os estudantes esfregaram diferentes superfícies, e puderam verificar que a superfície influencia na força de atrito. No simulador, a barra de atrito torna as duas superfícies mais lisas ou mais rugosas.

O restante da atividade deverá ser realizado pelos estudantes seguindo o roteiro. O professor deverá acompanhar a turma para tirar eventuais dúvidas que surgirem.

Roteiro 1 - Aula 1 – Investigando a força de atrito com simulação

- a) Inicie a atividade com as configurações iniciais do simulador. Clique nas caixas **Forças, Soma das forças, Valores, Massas e Velocidade**.
- b) Aplique uma determinada força no caixote e verifique que aparecem duas forças na horizontal: a força aplicada e a força de atrito. Analise o que ocorre com o valor da força de atrito quando modificamos o valor da força aplicada.
- c) A medida que você aumenta a força aplicada, o que acontece com a força de atrito?
- d) Isso acontece sempre? Faça o teste iniciando com forças pequenas e vá aumentando.
- e) Ao aumentar o valor da força aplicada, a força de atrito também aumentou. O valor máximo da força de atrito foi de
- f) Quando o caixote começou a se movimentar, o que aconteceu com o valor da força de atrito? Qual foi seu novo valor?
- g) Com o caixote em movimento, aumente e diminua o valor da força aplicada. O que aconteceu com o valor da força de atrito neste procedimento?
- h) Mude o valor da força aplicada até que o valor da força resultante seja zero. O que acontece com o valor da velocidade quando o valor da força resultante é igual a zero?
- 1) Clique no botão que reinicia a simulação. Primeiro responda depois faça o teste: O que você deve fazer para que o caixote inicie o movimento? Justifique sua resposta e faça o teste com a simulação.
- 2) O que você deve fazer para aumentar a velocidade do caixote? E para diminuir? Justifique as suas respostas e faça o teste com a simulação.
- 3) Clique no botão que reinicia a simulação. Clique novamente nas caixas **Forças, Soma das forças, Valores, Massas e Velocidade**. Mude a barra denominada **Atrito**, diminuindo seu valor, como mostra a figura seguir.



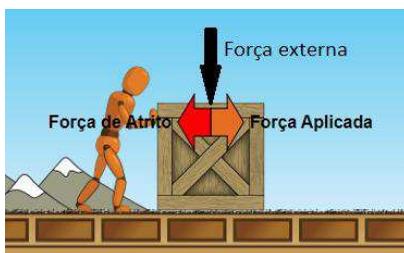
- 4) Aplique uma força de 50 N e vá aumentando de 1 N em 1 N. Qual é o valor máximo da força de atrito nesta situação? Qual fator influenciou nesta mudança?
- 5) Clique no botão que reinicia a simulação. Clique novamente nas caixas **Forças, Soma das forças, Valores, Massas e Velocidade**.

Mude a barra denominada **Atrito**, diminuindo seu valor, como mostra a figura seguir.

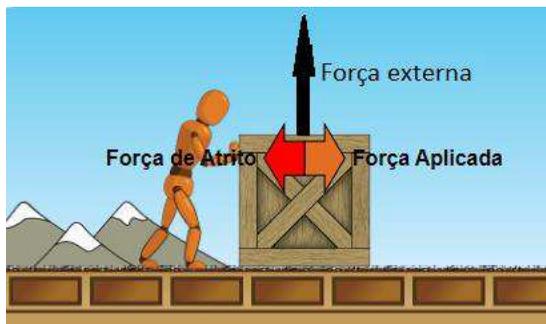


Aplique uma força de 150 N e vá aumentando de 1 N em 1N. Qual é o valor máximo da força de atrito nesta situação? Qual fator influenciou nesta mudança?

- 6) Clique no botão que reinicia a simulação. Clique novamente nas caixas **Forças**, **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e **Velocidade**. Adicione outro caixote em cima do que já está no plano. O que deve ocorrer com a força de atrito máxima? Como você explica isso? Faça o teste e verifique sua hipótese, comentando o resultado.
- 7) Reinicie novamente a simulação. Adicione duas caixas sobre a que já está no plano. E agora o que deverá ocorrer com a força de atrito máxima? Como você explica este fato? Faça o teste e verifique sua hipótese, comentando o resultado.
- 8) Experimento de pensamento: Se em vez de colocar os caixotes em cima do que já estava no plano, for aplicada uma força sobre o caixote de cima para baixo, o que ocorreria com a força de atrito máxima quando o caixote fosse empurrado (veja a figura que representa o esquema) na horizontal? Como você explica isso?



- 9) Da mesma forma, explique o que ocorreria com a força de atrito máxima, se fosse aplicada uma força de baixo para cima, tentando levantar o caixote no momento que ele estava sendo empurrado para o lado (veja a figura a seguir).



10) Quais os fatores que influenciam na força de atrito quando há movimento ou tendência de movimento?

Após os estudantes terminarem a atividade com a simulação deverão ser discutidos os seguintes pontos:

- Existem dois tipos de força de atrito: estático e dinâmico, sendo a força de atrito estático máxima maior que o valor da força de atrito dinâmico;
- A força de atrito estático aumenta até um valor máximo, e quando a força aplicada for maior que este valor, o corpo entra em movimento;
- Para que o corpo inicie o movimento, a força aplicada deve ser maior que a força de atrito estática máxima, desta forma, a força resultante será diferente de zero.
- Para aumentar a velocidade do caixote, é necessário que a força resultante seja diferente de zero (força aplicada no sentido do movimento maior que a força de atrito) e no sentido do movimento.
- Para diminuir a velocidade do caixote, a força resultante deve ser no sentido oposto ao movimento (a força aplicada deve ser menor que a força de atrito, ou a força aplicada deve ser no sentido oposto ao movimento).
- Quando acrescentamos um objeto sobre o caixote, a força de atrito aumenta porque aumentou a força normal atuando no caixote, não porque aumentou a massa do caixote. Vale lembrar o experimento de pensamento feito nas questões 6 e 7. Aplicar uma força para baixo fará o mesmo efeito no caixote que colocar um objeto sobre o ele. Lembrar-se dos exercícios resolvidos sobre força normal na aula 2. Desta forma, a força de atrito depende da força normal, não da massa do objeto.

Outro fator que influencia na força de atrito é a superfície de apoio. Superfícies mais rugosas/ásperas sofrerão uma força de atrito maior e superfícies menos rugosas/ásperas sofrerão força de atrito menor.

3 Aula 2 - Força de atrito - Experimentos de força de atrito

Tempo estimado: 90 minutos

Objetivos:

- Investigar o papel da superfície na intensidade da força de atrito
- Aprofundar os conhecimentos sobre força de atrito
- Debater a importância da força de atrito

Momento 1 - Relembrando os conceitos discutidos na aula anterior – 10 minutos

Dinâmica 1: É provável que alguns conceitos foram perdidos pelos estudantes por não serem adequadamente processados. Para relembrar e trabalhar mais detalhadamente os conceitos estudados até o momento deverá ser utilizado a simulação projetada no quadro para discutir os conceitos trabalhados na aula anterior.

Alguns conceitos relacionados à força de atrito foram discutidos com o uso da simulação e, para aprofundar estes conceitos deverão ser trabalhadas atividades experimentais semelhantes às trabalhadas na simulação.

Momento 2 – Experimentos sobre força de atrito – 30 minutos

Os materiais utilizados nesta investigação são blocos de madeira de mesma massa (aproximadamente 400 g), embrulhados em materiais diferentes e dinamômetros. Os blocos de madeira devem ter as superfícies planas. Caso a escola e o professor não tenham dinamômetros, é possível construí-los com os materiais seguintes.

- Cano de 32 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento
- Mola de caderno/livro com diâmetro menor que 32 mm e 15 cm de comprimento
- Mangueira de 15 cm de comprimento
- Arame (pode ser clips abertos)
- Cola quente
- Massinhas de 100 g, 200 g, 300 g e 400 g
- Régua.

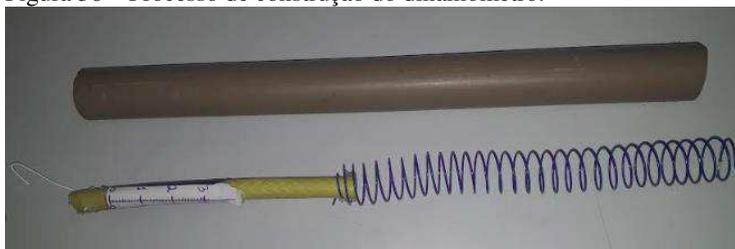
Figura 35 – Blocos de madeira e dinamômetro utilizado no estudo de força de atrito.



Fonte: O autor.

Para a construção do dinamômetro, é necessário prender a mola em um pedaço de mangueira. Um pequeno pedaço de papel deve ser colado na mangueira para anotar os valores de força aplicada, como mostra a figura a seguir.

Figura 36 – Processo de construção do dinamômetro.



Fonte: O autor.

Um pequeno pedaço de arame pode ser usado para fazer o gancho, onde será aplicado a força no dinamômetro. A mola com a mangueira deve ser colocada dentro do cano (o cano deve ter um diâmetro maior que o diâmetro da mola). A extremidade da mola que não tem a mangueira deve ser presa no cano, pode ser com arame, ou com cola quente. Nesta extremidade também deve ser colocado um gancho para poder pendurar o dinamômetro. Na sequência, o

dinamômetro deve ser pendurado pela extremidade que não possui a mangueira. É necessário fazer uma marcação no papel (que deve estar aparecendo na parte externa do cano), indicando força zero. Uma massa de 100 g deve ser pendurada no dinamômetro, de modo que a mola seja esticada. Após o equilíbrio, deve-se fazer uma marcação, indicando uma força de 1 N. Em seguida, massas de 200 g, 300 g e 400 g devem ser colocadas, cada qual indicando os valores de 2 N, 3 N e 4 N, respectivamente. Para se ter uma precisão maior na medida da força, deve-se dividir os espaços em 10 partes iguais com o uso da régua, indicando os décimos de newtons.

A seguir, a atividade experimental é descrita.

Dinâmica 2: Os estudantes deverão formar grupos de aproximadamente 4 integrantes, responder questões e realizar experimentos sobre força de atrito. Cada grupo deverá receber um bloquinho de madeira, de mesma massa, mas embrulhado em materiais diferentes (EVA, papel, lixa grossa, lixa fina, etc.) e um dinamômetro.

Primeiramente o professor deverá pedir aos estudantes para determinar qual o valor da força de atrito máxima que o bloquinho suporta antes de começar a se mover. Antes do experimento, os estudantes devem responder uma questão. Após as respostas, deverá ser feito a discussão das possibilidades e a realização do experimento.

Roteiro 2 - Aula 2 - Investigação experimental sobre força de atrito

- 1) Como faremos para determinar o valor máximo da força de atrito estático utilizando o dinamômetro?
- 2) Cada equipe colocará o bloquinho preso por um gancho no dinamômetro e puxá-lo. O valor máximo da força de atrito estático corresponde ao valor máximo mostrado no dinamômetro. Cada equipe deverá determinar o valor desta força. Para isso, faça o experimento.

Na sequência, os valores devem ser socializados com as outras equipes, e discutir qual foi o fator que influenciou nos valores.

Na simulação foi verificado que se um bloco for colocado sobre o que está sendo empurrado, o valor da força de atrito estática máxima aumenta. Pedir aos estudantes para fazer o teste. Cada equipe deverá receber um novo bloquinho ou algum outro objeto para ser colocado sobre o primeiro. Os estudantes deverão responder a seguinte questão antes de fazer a medida da força de atrito.

- 3) O que deverá acontecer com o valor da força de atrito máxima quando for colocado um objeto sobre o bloquinho quando este for puxado horizontalmente? Por que isto acontece?

Na sequência deverão fazer o experimento.

- 4) Faça o teste e verifique sua hipótese. Qual o valor da força de atrito estática máxima encontrada? Ele é maior ou menor do que o valor encontrado na questão 2?

Na sequência, os valores encontrados devem ser socializados e as respostas discutidas.

Foi realizado também um experimento de pensamento no qual era aplicado uma força de cima para baixo no bloquinho empurrado/puxado. Os estudantes deveriam dizer o que deveria acontecer com a força de atrito estática máxima. Neste momento, os estudantes farão o teste para verificar suas respostas. Cada equipe utilizará o mesmo bloquinho que usou no experimento anterior. Para que o experimento seja bem sucedido, o professor deverá fazer a demonstração antes do experimento.

- 5) Aplique uma força com os dedos de cima para baixo sobre o bloquinho, mas não muito forte. Puxe-o com o dinamômetro e verifique o valor da força de atrito estática máxima encontrada. Qual foi o valor? O valor está de acordo com o previsto no questionário da aula anterior? O valor encontrado é maior, menor ou igual o valor encontrado na questão 2? Justifique sua resposta.
- 6) Faça o contrário agora, aplique uma força no bloquinho para cima, mas sem levá-lo, de modo a diminuir o valor da força normal sobre o bloquinho. Puxe-o também na horizontal com o dinamômetro, e verifique o valor da força de atrito máxima. Qual foi o valor? Ele está de acordo com o previsto no questionário da aula anterior? O valor foi maior, menor ou igual o valor encontrado na questão 2? Justifique sua resposta.

Os experimentos realizados nas questões 2, 3, 4, 5 e 6, em conjunto servem para refletir que o valor da força de atrito depende do valor da força normal que atua no bloco, não da massa do bloco. Ao final dos experimentos, fazer uma discussão dos resultados encontrados: a intensidade da força de atrito depende da superfície dos materiais e do valor da força normal.

Momento 3 – Importância da força de atrito – 20 minutos

Dinâmica 3: Na sequência da aula, a discussão será sobre a importância da força de atrito.

Os estudantes deverão responder as seguintes questões para discussão inicial.

- a) Qual é a importância da força de atrito em nossas vidas?
- b) O atrito sempre dificulta o movimento ou há alguma situação que ele é importante para acontecer um movimento?

Antes da discussão das questões 7 e 8, serão analisados quatro vídeos. O primeiro mostra várias pessoas escorregando e caindo devido ao chão escorregadio (link: <https://www.youtube.com/watch?v=nhNjYcsL-t4>). O segundo vídeo (link: <https://www.youtube.com/watch?v=CfJk38PMcqs>), mostra uma pessoa correndo em câmera lenta, focando no pé do corredor. É possível verificar que a força aplicada pelos pés da pessoa aponta para baixo e para trás, desta forma a força resultante atuando nos pés na pessoa (soma vetorial da força normal e de atrito) aponta para frente e para cima, impulsionando-o para frente e para cima. O terceiro vídeo (link: <https://www.youtube.com/watch?v=bCij8BiMyoM>) mostra um engarramento causado pelo deslizamento dos carros em uma pista escorregadia por causa da neve. O quarto vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=QB6Ag8B3qyE>) mostra uma situação totalmente contrária. Neste vídeo é mostrado a importância do freio ABS no momento de uma frenagem. Ao final dos vídeos, as questões iniciais devem ser discutidas, abordando a importância da força de atrito no nosso cotidiano. Em alguns casos, o atrito é importante para que um movimento possa acontecer, como caminhar, acelerar uma bicicleta ou outro veículo, já em outras situações o atrito é importante para diminuir o movimento de um corpo, como no caso de uma frenagem.

Na sequência, a fim de promover uma reflexão sobre os pontos discutidos até o momento, os estudantes devem responder às seguintes perguntas:

- a) Força de atrito sempre atrapalha o movimento ou há alguma situação que o atrito é importante para ocorrer um movimento?
- b) Justifique a necessidade das forças de atrito para que possamos caminhar, parar um veículo, escrever num papel.

- c) Imagine a situação: um carro tenta arrancar em uma pista molhada ou suja com óleo. O que irá acontecer com o carro se o motorista “pisar fundo” no acelerador?
- d) Pense e escreva situações que a força de atrito é importante para o movimento e em situações que a força de atrito deva ser diminuída ao máximo.
- e) Imagine que você tenha que empurrar um caixote como mostrado na primeira figura.

Figura 37 - Caixote sendo empurrado (1) e caixote sendo empurrado com um objeto em cima (2)



Fonte: O autor.

Na segunda figura, percebemos que um objeto foi colocado sobre o caixote, de modo a aumentar a massa do conjunto. Para movimentar o caixote na segunda situação, a força aplicada deverá ser maior, menor ou igual à primeira situação? Justifique sua resposta com base nos conhecimentos estudados nesta aula.

Após o término das atividades, as questões devem ser corrigidas com a participação dos estudantes.

4 Aula 3 - Força de atrito – Equações da força de atrito

Tempo estimado: 90 minutos.

Objetivos:

- Aplicar as equações da força de atrito para situações diversas

Momento 1 – Discussão dos conceitos discutidos na aula anterior – 5 min

Dinâmica1: Nesta aula deverão ser lembrados conceitos discutidos na aula anterior, tais como: A intensidade da força de atrito depende de dois fatores: das superfícies de apoio e da força normal atuando no objeto; há situações em que a força de atrito é importante para que um movimento ocorra, pois a força de atrito corresponde uma força de resistência que dificulta um deslizamento entre duas superfícies; e há situações em que a força de atrito é importante para impedir um movimento de acontecer, como frear uma bicicleta ou outro veículo.

Momento 2 – Equações da força de atrito – 25 min

Dinâmica 2: Discutir com os estudantes as equações da força de atrito estática e dinâmica. Para iniciar a discussão, vamos pensar na seguinte situação: quando empurramos um objeto mas ele não se move, é porque a força aplicada não é suficiente para vencer a força de atrito estática entre o chão e a caixa.

Figura 38 - Força de atrito surge quando o bloco é empurrado



Fonte: Cola da web. Disponível em: <<https://www.coladaweb.com/>> Acesso em 20/06/2018.

Se aumentarmos gradativamente a força aplicada e mesmo assim o objeto não se mover, é porque a força de atrito estática está aumentando, equilibrando a força aplicada. A situação acima descrita deverá ser discutida com o uso da simulação utilizada na aula anterior. Pode-se concluir então que a força de atrito estática é variável, de modo que seu valor será igual à força aplicada se o caixote não se mover. Mas quando o caixote começa a se mover? O caixote entra em movimento

quando a força aplicada superar o valor máximo da força de atrito estática. O valor máximo da força de atrito estática pode ser calculado pela equação:

$$F_{ae\ máx} = \mu_e \cdot N$$

Nesta equação, μ_e corresponde ao coeficiente de atrito estático entre as superfícies. Este valor varia de superfície para superfície. No caso de duas superfícies que deslizam facilmente, o valor de μ_e será baixo. Para superfícies com μ_e grande, elas terão mais dificuldades de deslizar. Sobre a força de atrito estático, temos que destacar os seguintes pontos:

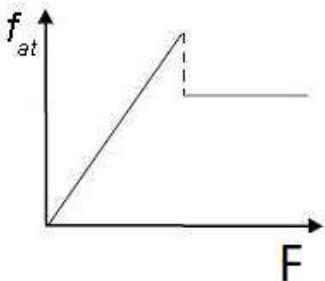
- Enquanto o objeto não entra em movimento, a força de atrito estática é igual em módulo à força aplicada, paralelamente a superfície de apoio.
- No momento que a força aplicada igualar-se com a força de atrito estática máxima, o objeto estará na eminência de movimento.
- Se a força aplicada for maior que a força de atrito estática máxima, o objeto entra em movimento. A partir deste momento, o atrito passa a ser dinâmico (cinético). Este atrito será discutido na sequência.

Com o uso da simulação, podemos observar que quando um caixote se move, se existir atrito entre ele e a superfície, age uma força de atrito dinâmica (cinética) que se opõe ao movimento. Esta força de atrito é constante e não depende da velocidade do caixote. Para calcular o valor desta força, usamos a seguinte equação:

$$F_d = \mu_d \cdot N$$

Onde μ_d corresponde ao valor do coeficiente de atrito dinâmico entre o objeto que se move e a superfície. Na prática, o valor do coeficiente de atrito estático é maior que o coeficiente de atrito dinâmico. Podemos verificar isso através da simulação. Quando o caixote entra em movimento, o valor da força de atrito diminui porque o coeficiente de atrito diminui. Na sequência, deverá ser discutido o seguinte gráfico, que mostra a força de atrito f_a variando com a força aplicada F .

Figura 39 – Gráfico do comportamento da força de atrito.



Fonte: Adaptado de CREF. Disponível em <https://www.if.ufrgs.br/novocref/>. Acesso em 20 de junho de 2018.

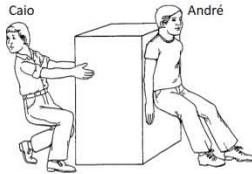
Momento 3 – Exemplos trabalhados e exercícios – 60 min

Dinâmica 3: Os estudantes deverão responder uma lista de exercícios (a seguir). Os três primeiros exercícios devem ser exemplos trabalhados.

Questionário 1 - Aula 3 - Atividades com equações da força

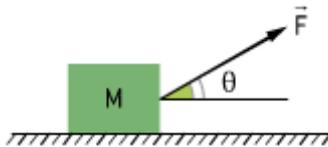
de atrito

- 1) Um bloco com massa de 20 kg encontra-se em repouso sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre a superfície e o bloco valem, respectivamente 0,5 e 0,4. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.
 - a) Aplica-se no bloco uma força de intensidade 90 N, paralela a superfície apoio. O bloco entra em movimento? Qual o valor da força de atrito no bloco?
 - b) Se a força aplicada for 110 N, o bloco entra em movimento? Qual o valor da força de atrito nesta situação?
- 2) Dois amigos, Caio e André estão tentando arrastar juntos, uma caixa de 400 kg, inicialmente em repouso sobre uma superfície plana e horizontal. O coeficiente de atrito estático entre a caixa e o solo vale 0,4. Caio puxa para a esquerda com uma força horizontal e constante de intensidade 500 N. Ao mesmo tempo, André empurra a caixa para a esquerda com uma força também horizontal.



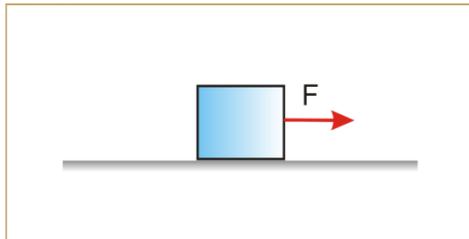
Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, qual deve ser a força mínima que André deve aplicar para a caixa iniciar o deslizamento?

- 3) Um bloco de massa $M = 10 \text{ kg}$, sob ação de uma força F de módulo 30 N , movimentando-se com velocidade constante sobre uma superfície horizontal rugosa, conforme mostra a figura.



Sabendo-se que $\sin\theta = 0,6$ e $\cos\theta = 0,8$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco e a superfície de apoio.

- 4) O bloco da figura tem massa igual a 8 kg e repousa sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco e a superfície são, respectivamente $0,4$ e $0,3$. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$.

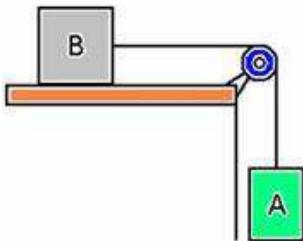


Aplica-se ao bloco uma força motriz F . Determine a intensidade da força de atrito que atua sobre o bloco, nos seguintes casos:

- $F = 0$
 - $F = 10 \text{ N}$
 - $F = 50 \text{ N}$
 - $F = 80 \text{ N}$
- 5) Para iniciar o movimento de um bloco de massa igual a 10 kg , apoiado num plano horizontal e rugoso, é necessário uma força horizontal de intensidade maior que 60 N (60 N é a força necessária para deixá-lo na eminência de se mover). Para mantê-lo em

movimento com velocidade constante, é necessário uma força de intensidade 40 N. Determine os coeficientes de atrito estático e dinâmico. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- 6) No esquema a seguir, o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco A e o plano horizontal vale 0,2. A massa do bloco A é igual a 3 kg. Sabendo-se que os blocos movem-se com velocidade constante, calcule a força de atrito sobre o bloco A.



Um estudante dedicado possui dois tênis (A e B) e deseja saber qual deles oferece maior resistência ao escorregamento quando estiver usando. Para isso, ele mediu a massa de cada um dos tênis e chegou aos valores: Massa do tênis A igual a 200 g e massa do tênis B igual a 300 g. Ele apoiou os dois tênis sobre uma mesma superfície horizontal e usando um dinamômetro, puxou cada um dos tênis separadamente até que eles iniciassem o movimento. Ele percebeu que o tênis A começou a se mover com uma força de intensidade maior que 1,6 N e o tênis B começou a se mover com uma força de intensidade maior que 1,8 N. Tendo estes valores, ele determinou o coeficiente de atrito estático de cada tênis. Sabendo que ele fez os cálculos corretamente, quais foram os valores encontrados? Qual tênis é mais escorregadio para este estudante? Justifique sua resposta.

5 Aula 4 - 1ª lei de Newton

Tempo estimado: 90 minutos

Objetivos:

- Investigar os efeitos de diferentes forças sobre um objeto
- Compreender a primeira lei de Newton

Momento 1 - Buscando as concepções espontâneas – 10 min

Dinâmica 1: Como introdução, deverão ser discutidos exemplos do cotidiano que envolvem a primeira lei de Newton. Serão respondidas e discutidas algumas perguntas para analisar as concepções dos estudantes.

a) O que acontece com seu corpo quando um ônibus freia bruscamente?

b) E quando acelera?

c) O que acontece com seu corpo quando o carro ou o ônibus que você está faz uma curva muito rápido?

d) Qual a importância de usar o cinto de segurança em um carro ou ônibus?

e) É necessário a ação de uma força para manter um corpo em movimento?

É de senso comum o estudante imaginar seu corpo indo para frente quando acontece uma freada ou uma batida frontal. Espera-se que os estudantes respondam que o corpo é “lançado” para frente quando o ônibus freia bruscamente e quando o ônibus acelera o corpo é “jogado” para trás. Ao imaginar a situação, os estudantes poderão lembrar que quando um ônibus faz a curva para um lado, o corpo é “jogado” para o lado oposto, sendo assim esperamos isto como resposta à questão (c). Sobre a pergunta (d) esperamos que os estudantes respondam que o cinto de segurança serve para impedir que o corpo seja “jogado” para frente do carro (no painel) quando acontecer uma batida. Sobre a questão (e) é intuitivo o estudante responder que é necessário uma força para manter um corpo em movimento, quando a força cessa, o corpo irá parar. Após o término das atividades as questões devem ser discutidas e os estudantes devem defender suas respostas.

Momento 2 – Utilizando o simulador para investigar a primeira lei de Newton – 30 minutos

A simulação utilizada é a mesma utilizada para a discussão de força de atrito (*Forças e Movimento: Noções Básicas*. Disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics). A tela inicial da simulação no modo atrito é mostrada na Imagem 4.

Dinâmica 2: Utilizando a simulação, os estudantes devem seguir o seguinte roteiro.

Roteiro 3 - Aula 4 – Investigação sobre primeira lei de Newton com simulação

- 1) Utilize o simulador no modo **atrito**. Clique nas caixas **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e em **Velocidade**, para poder analisar o valor destas grandezas.
- 2) Mude o valor do atrito, colocando-o no máximo. Aplique uma força no caixote até que ele atinja uma velocidade de 20 m/s. Neste momento reduza a força aplicada até zero e responda:
 - a) A velocidade do caixote diminui muito rápido ou devagar?
 - b) Como você explica este fato?
 - c) Qual foi o valor da força resultante? A força resultante foi no sentido do movimento ou no sentido oposto?
- 3) Assim como você fez no item anterior, mude o valor do atrito para um valor médio. Aplique uma força no caixote até que ele atinja a velocidade de 20 m/s. Neste momento, reduza a força aplicada até zero e responda:
 - a) Neste novo caso, a velocidade do caixote diminuiu da mesma forma? Qual foi a mudança?
 - b) Como você explica esta mudança?
 - c) Qual foi o valor da força resultante? A força resultante foi no sentido do movimento ou no sentido oposto?
- 4) Mude novamente o valor do atrito, diminuindo ao máximo. Aplique uma força no caixote até que ele atinja a velocidade de 20 m/s. Neste momento, reduza a força aplicada até zero e responda:
 - a) O que acontece com a velocidade do caixote?
 - b) Como você explica este fato?
 - c) Qual o valor da força resultante nesta situação?
- 5) Mude o valor do atrito pra um valor médio. Aplique uma força no caixote até que ele atinja uma velocidade próxima de 20 m/s. Neste momento, reduza o valor da força aplicada até que ela seja igual a força de atrito.
 - a) O que acontece com a velocidade do caixote?

b) Como você explica este fato?

c) Qual o valor da força resultante nesta situação?

Ao final da atividade deverá ser feita uma discussão dos conceitos pertinentes desta aula: quando empurramos um objeto e paramos de aplicar a força, ele para devido a força de atrito; quanto maior for a força de atrito, mais rapidamente ele irá parar; se conseguirmos diminuir a força de atrito até zero, o corpo permanecerá em movimento retilíneo e uniforme; um corpo permanece em movimento retilíneo e uniforme quando a força resultante atuando sobre ele for nula; no caso em que a força de atrito for nula, não é necessário aplicar uma força para manter o corpo em movimento, e as únicas forças que agem no corpo são peso e a força normal, como elas são iguais, a força resultante é nula; quando há força de atrito, a força aplicada deve ser igual a força de atrito para manter o corpo deslizando com velocidade constante.

Momento 3 - Experimento da toalha puxada – 10 minutos

Dinâmica 3: Iniciar o experimento colocando alguns objetos sobre uma toalha exposta sobre a mesa do professor (a toalha deve ser lisa e não conter emendas para não prejudicar o experimento). Perguntar aos estudantes: O que irá acontecer com os objetos que estão em cima se a toalha for puxada? Por que você acha isso?

Novamente os estudantes poderão ler suas respostas para discutir com outros estudantes. Esperamos que alguns estudantes respondam que os objetos irão cair, outros dirão que os objetos ficarão em cima da mesa e há ainda aqueles que devem responder que depende da forma que a toalha for puxada.

Antes de realizar o experimento, poderá ser mostrado o vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=I9IJZu-Y9ul>) do papa puxando a toalha, semelhante ao experimento proposto. No vídeo, o papa está na frente de uma mesa com vários pedestais sobre uma toalha branca. Neste momento, o papa puxa a toalha e os objetos permanecem sobre a mesa sem cair. Antes de chegar o momento de o papa puxar a toalha, o vídeo será pausado e perguntado aos estudantes o que irá acontecer com os pedestais. Esperamos como respostas o mesmo que já foi respondido anteriormente. Após os estudantes responderem a pergunta, o vídeo deverá continuar.

Os estudantes devem ser questionados se eles acreditam que isto pode mesmo acontecer, ou seja, puxar a toalha e os objetos permanecerem sobre sua superfície sem cair. Para causar um conflito cognitivo naqueles que não acreditam que é possível, será pedido para eles fazerem o teste puxando a toalha que está sobre a mesa do

professor. Se a toalha for puxada rapidamente, os objetos não irão cair, mas se for puxada com baixa aceleração, é provável que os objetos caiam. Todos os estudantes poderão ser convidados a puxar a toalha.

Após a realização do experimento, deverá ser feita uma discussão sobre o que foi verificado, com foco nas seguintes perguntas:

- a) Por que o objeto não caiu quando a toalha foi puxada? Qual é a explicação que você pode dar por isso?
- b) O que é preciso fazer para um corpo que está em repouso se movimentar?
- c) Há alguma relação entre este experimento e as primeiras perguntas respondidas?

Momento 4 - Conceito da primeira lei de Newton – 5 minutos

Dinâmica 4: O professor deverá discutir o conceito da primeira lei de Newton, relacionando os exemplos citados em momentos anteriores. Neste momento da aula, deverá ser comentado que os corpos possuem uma tendência natural de manter o seu estado de movimento ou repouso. No caso do ônibus, discutido no início da aula, quando foi perguntado sobre o que aconteceria se o ônibus freasse bruscamente, as respostas foram que o corpo foi lançado pra frente, mas na verdade os corpos apenas mantêm seu movimento. No caso da toalha puxada, os objetos permaneceram sobre a toalha por terem uma tendência natural de se manter em repouso. Como a toalha foi puxada rapidamente, a força de atrito entre a toalha e o objeto atuou durante um período de tempo muito pequeno, o que não foi suficiente para tirar o objeto de sua inércia.

Momento 5 - Experimentos envolvendo a primeira lei de Newton – 10 minutos

Dinâmica 5: Pedir para um estudante lançar sobre o chão um bloco de madeira com baixa velocidade. Rapidamente o bloco irá parar. Pedir a outro estudante para lançar um *skate* ou um carrinho também com baixa velocidade. É de se esperar que o *skate* ou carrinho percorra uma distância maior que o bloco de madeira. Assim como foi verificado no simulador (relembrar os estudantes sobre o experimento), se a força de atrito for diminuída ao máximo, o corpo permanece em movimento retilíneo e uniforme. Para testar este fenômeno, deverá ser realizado o experimento do CD com balão, como mostrado na figura a seguir (para mais informações sobre a construção do aparato, acesse o link <http://www.aberta.org.br/educarede/tag/leis-de-newton/>).



Com o balão cheio de ar, é possível perceber que o CD entra em movimento com uma força muito pequena, e ao entrar em movimento, permanece em movimento, aparentemente sem diminuir sua velocidade. Ao realizar este experimento, o estudante deve ser questionado por que o CD não parou tão facilmente. Os estudantes podem dizer que é por causa do ar, ou seja, o ar que sai dos furos do trilho está empurrando o carrinho fazendo-o se mover. Pode-se discutir neste momento sobre o sentido do ar que sai do furo, além de mostrar que se o CD for colocado parado sobre a mesa, ele permanece parado, o que mostra que o ar que sai do furo não empurra o CD na horizontal, ele apenas faz o CD “flutuar” sobre a mesa. Lembrar os estudantes que a força de atrito depende do valor da força normal. O ar saindo do furo, faz a força normal sobre o CD diminuir até zero, pois o CD não está em contato com a mesa, desta forma, a força de atrito é zero e a resistência do ar é muito pequena, podendo ser desprezada. Como não há forças capazes de diminuir a velocidade do CD, ele permanece em movimento retilíneo e uniforme.

Momento 6 - Questionário sobre a 1ª lei de Newton – 25 min

Dinâmica 6: Os estudantes deverão responder um questionário para verificar se foi possível fazer uma relação entre a teoria e a prática estudada até o momento, além de promover uma reflexão dos conceitos discutidos até o momento. A seguir é mostrado o questionário.

Questionário 2 - Aula 4 - Atividades sobre primeira lei de Newton

- 1) Um jogo muito badalado na área de jogos de um shopping é o *Air Hockey*, que consiste de uma mesa cheia de furos no qual sai uma corrente de ar, um disco de hockey e dois objetos que são utilizados para os participantes atingirem o disco. Neste jogo, os participantes ficam um de cada lado da mesa com o objetivo de fazer um “gol” arremessando o disco até o outro lado da mesa. Percebe-se que o disco arremessado movimenta-se com velocidade praticamente constante de um lado a outro da mesa.

Responda as questões a seguir.

- a) Com base na discussão realizada como você explica o jogo funcionar perfeitamente.
- b) Qual lei física está envolvida no movimento do disco após ele ser lançado por um dos participantes do jogo? Faça uma discussão dos conceitos envolvidos.
- 2) O uso do cinto de segurança é obrigatório no Brasil, inclusive para os passageiros do banco de trás do veículo. Em uma colisão, os passageiros são “arremessados” para frente do veículo. Para evitar que o passageiro ou o motorista colidam com o painel ou para-brisa do carro, é utilizado o cinto de segurança. Explique este fato, com base nas discussões realizadas em sala.
- 3) (FUND. CARLOS CHAGAS) Uma folha de papel está sobre a mesa do professor. Sobre ela está um apagador. Dando-se, com violência, um puxão horizontal na folha de papel, esta se movimenta e o apagador fica sobre a mesa. Uma explicação aceitável para a ocorrência é:
JUSTIFIQUE SUA ESCOLHA.
- a) nenhuma força atuou sobre o apagador;
- b) a resistência do ar impediu o movimento do apagador;
- c) a força de atrito entre o apagador e o papel só atua em movimentos lentos;
- d) a força de atrito entre o papel e a mesa é muito intensa;
- e) a força de atrito entre o apagador e o papel provoca, no apagador, uma aceleração muito inferior à da folha de papel.
- 4) Ao empurrarmos uma mesa, ela se movimenta com velocidade constante. Sobre este movimento, podemos afirmar que:
JUSTIFIQUE SUA ESCOLHA.
- a) A força aplicada é maior que a força de atrito.
- b) A força resultante é zero.

- c) A força de atrito é maior que a força aplicada.
 - d) Não há força de atrito atuando.
-
- 5) Quando estamos dentro de um ônibus em movimento, também estamos em movimento em relação ao solo. O que poderá ocorrer com nosso corpo se saltarmos de um ônibus em movimento?
 - 6) É necessário a ação de uma força para manter um corpo em movimento?
 - 7) Um objeto em movimento recebe a ação de uma força de intensidade 50 N na mesma direção e sentido do movimento. Neste momento, a intensidade da força de atrito também é de 50 N. O que ocorre com a velocidade deste objeto? Como você explica isto?

6 Aula 5 - 2ª lei de Newton

Tempo estimado: 180 minutos

Objetivos:

- Investigar a relação entre as grandezas força resultante, massa e aceleração
- Concluir que o produto da massa pela aceleração de um corpo é igual ao valor da força resultante

Assim como feito com a 1ª lei de Newton, será dada uma breve explicação sobre os conceitos envolvidos na 2ª lei de Newton, para em seguida serem trabalhados na simulação e experimentalmente.

Momento 1 - Contextualização inicial – 10 minutos.

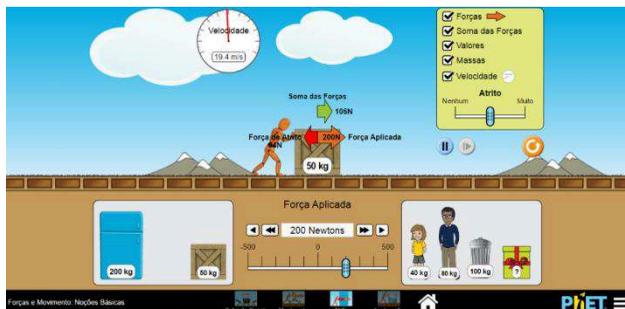
Dinâmica 1: Relembrar rapidamente sobre a 1ª lei de Newton, enfatizando que se a força resultante sobre um corpo é zero, a velocidade do corpo não varia, ou seja, a aceleração do corpo será nula. Os estudantes deverão responder as seguintes questões.

- a) O que acontece com um corpo quando a força resultante sobre ele é diferente de zero?
- b) Qual é a relação que existe entre força resultante e velocidade?
- c) Qual é a relação que existe entre força resultante e massa do corpo?
- d) Qual é a relação que existe entre força resultante e aceleração do corpo?

É muito comum os estudantes relacionarem força resultante ou simplesmente força e velocidade. Na concepção deles, quanto maior a força aplicada, maior será a velocidade. Para que o estudante possa verificar que existe uma relação entre força resultante, massa e aceleração, será proposta a seguinte atividade com a simulação.

Momento 2: Uso da simulação *Força e Movimento* – 20 min

A simulação utilizada é a mesma já utilizada anteriormente (*Forças e Movimento: Noções Básicas*. Disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics). A figura a seguir mostra a tela inicial da simulação.



Dinâmica 2: Sabemos que existe uma proporção inversa entre massa e aceleração quando a força resultante é mantida constante, ou seja, quanto maior a massa do corpo que recebe a força resultante, menor será sua aceleração. Com o uso da simulação, será analisado esta relação. Primeiramente, aplica-se uma força resultante de 150 N em uma massa pequena (40 kg) e verifica-se o aumento de velocidade deste corpo. Como a massa é pequena, a variação de velocidade será grande. Pode-se perceber que o ponteiro do velocímetro muda de posição rapidamente.

Na sequência será trocado a massa de 40 kg por uma de 80 kg. Aplicando-se a mesma força resultante, a aceleração será menor que no caso anterior. Aumentando-se novamente a massa a ser empurrada (agora 200 kg), a aceleração deverá diminuir novamente comparada à anterior.

Nesta etapa da atividade, foi verificado que quanto maior a massa do corpo, menor foi sua variação de velocidade. Não é necessário discutir os valores de variação de velocidade no momento.

Usando a mesma simulação, deverá ser analisada a relação entre a força resultante e a aceleração do objeto. Escolhe-se uma massa (50 kg) e aplica-se uma força resultante pequena (50 N). Nesta situação, a aceleração será pequena. Aumentando-se a força resultante para 100 N, a aceleração será maior. Aumentando-se novamente a força resultante para 150 N, a aceleração será maior novamente. Discutir com os estudantes sobre estas duas situações de proporcionalidade.

Agora que já sabemos relação entre estas grandezas, o professor deverá discutir com os estudantes o conceito da 2ª lei de Newton: A aceleração que um corpo adquire é diretamente proporcional a força resultante aplicada e inversamente proporcional a massa do corpo. Esta relação de proporção pode ser representada pela equação ($a = F/m$ ou $F = m \cdot a$).

Utilizando novamente a simulação *Força e movimento*, os estudantes deverão verificar a relação entre força aplicada, massa do corpo e aceleração do mesmo. Desta vez, são os estudantes que deverão fazer a manipulação dos parâmetros para que possam checar suas hipóteses levantadas no momento 1 desta aula.

Momento 3: Relação entre força, massa e aceleração – 130 min

Dinâmica 3: Utilizando a simulação no modo **Movimento**, os estudantes deverão manipular os parâmetros e preencher tabelas com os valores indicados. Na primeira parte, os estudantes irão trabalhar em uma situação sem atrito, logo qualquer força será suficiente para fazer o carrinho se movimentar. Com os valores de variação de velocidade e intervalo de tempo, os estudantes deverão calcular a aceleração do carrinho, completando a tabela. Na situação sem atrito, duas tabelas devem ser preenchidas, sendo uma para verificar a relação entre a força aplicada e a aceleração do caixote, e uma para verificar a relação entre a massa do caixote e sua aceleração. Ao preencher a tabela, os estudantes devem responder a pergunta: Qual é a relação matemática entre a força aplicada, massa e aceleração do objeto? Espera-se que o estudante consiga perceber que o valor da massa é igual ao valor da força aplicada dividida pela aceleração do objeto. Caso os estudantes não consigam, o professor poderá dar dicas para esta relação ser encontrada.

Roteiro 4 - Aula 5 – Investigação sobre segunda lei de Newton com simulação

- 1) Utilize o simulador no modo **Movimento**. Clique nas caixas **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e em **Velocidade**, para poder analisar o valor destas grandezas.
- 2) Escolha uma massa para realizar o experimento (pode ser um caixote, o lixeiro, o homem, etc) e anote o valor da massa na tabela. Use a mesma massa neste procedimento e preencha as 3 linhas da tabela seguinte.
- 3) Use um cronômetro para medir um intervalo de tempo que a força está sendo aplicada. A força aplicada primeiramente deve ser de 50 N. Inicie a simulação no mesmo momento que iniciar o cronômetro e pare o cronômetro no mesmo momento que parar a simulação. Anote na tabela a seguir os valores da velocidade inicial, velocidade final e intervalo de tempo verificados. Calcule a aceleração e preencha a tabela. Na sequência altere a força aplicada para 100 N e

repita o procedimento anterior, e novamente para 150 N, preenchendo a tabela.

M assa (kg)	V elocidade inicial (m/s)	Ve locidade final (m/s)	Int ervalo de tempo (s)	Ac eleração (m/s ²)	Fo rça aplicada (N)
					50 N
					10 0 N
					15 0 N

- 4) Qual é a relação que você pode verificar entre a força aplicada e a aceleração do carrinho quando a massa é mantida constante?
- 5) Repita o procedimento anterior, mas desta vez escolha uma força aplicada (pode ser 50 N, 100 N, 150 N, etc) e preencha as 3 linhas da tabela. Use os valores de massa descritos na tabela. Use um cronômetro e repita o procedimento usado para preencher a tabela anterior.

M assa (kg)	V elocidad e inicial (m/s)	Vel ocidade final (m/s)	In tervalo de tempo (s)	Ace leração (m/s ²)	F orça aplicada (N)
50 kg					
10 0 kg					
15 0 kg					

- 6) Qual é a relação que você pode verificar entre a massa do caixote e a aceleração do carrinho quando a força aplicada é mantida constante?
- 7) Analisando as duas tabelas, qual a relação matemática entre força aplicada, massa e aceleração?

Após os estudantes terminarem esta atividade, deve ser feita uma discussão dos resultados encontrados. Caso os estudantes não consigam verificar que a força aplicada é igual ao produto da massa pela aceleração, o professor pode dar dicas.

A segunda parte da atividade com o simulador, os estudantes devem trabalhar com uma situação com atrito, para verificar que a

aceleração adquirida pelo objeto é proporcional à força resultante aplicada, e não proporcional à força aplicada. Assim como feito no caso anterior, os estudantes deverão preencher as duas tabelas dadas na sequência. O professor deve mostrar aos estudantes como deve ser feito o recolhimento de dados. Os itens 8 e 9 podem ser confusos aos estudantes, então ela deve ser realizada primeiramente pelo professor, com a simulação projetada no quadro.

- 8) Use o simulador no modo **atrito**. Clique nas caixas **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e em **Velocidade** para poder analisar os valores destas grandezas. Use primeiramente o caixote de 50 kg, para preencher corretamente a tabela seguinte.
- 9) Aplique uma determinada força no caixote de modo que a força resultante seja maior que 50 N e o carrinho entre em movimento. Quando o carrinho já estiver em movimento, clique em pause. Anote os valores de força aplicada, força de atrito, força resultante e velocidade inicial (neste caso a velocidade inicial não será igual a zero como foi anteriormente). Use um cronômetro para medir um intervalo de tempo que a força está sendo aplicada. Inicie o movimento do carrinho e ao mesmo tempo inicie o cronômetro, após alguns segundos, pare o cronômetro no mesmo momento que parar a simulação. Anote na tabela a seguir os valores da velocidade final e intervalo de tempo verificado. Calcule a aceleração e preencha a tabela. Na sequência altere a massa para 100 kg e repita o procedimento anterior de modo que a força resultante seja a mesma, e novamente para 150 kg, preenchendo a tabela.

M assa (kg)	Ve locidade inicial (m/s)	V elocidad e final (m/s)	I nterval o de tempo (s)	A celera ção (m/s ²)	F orça aplicad a (N)	F orça de atrito (N)	F orça resulta nte (N)
50 kg	5						
100 kg	1						
150 kg	1						

- 10) Qual é a relação que você pode verificar entre a massa do caixote e a aceleração do carrinho? Você consegue relacionar com a tabela preenchida no item 5 e as respostas dos itens 6 e 7?

- 11) Reinicie a simulação. Clique nas caixas **Soma das forças**, **Valores**, **Massas** e em **Velocidade** para poder analisar os valores destas grandezas.
- 12) Nesta nova situação vamos realizar os experimentos apenas com a massa de 50 kg. Repita o procedimento usado anteriormente. A única diferença é que agora a massa deve ser mantida constante e a força aplicada deve ser a que está na tabela. Aplique uma força de 150 N e clique em pause quando o carrinho já estiver em movimento. Anote os valores da velocidade inicial, força de atrito e força resultante. Use um cronômetro para medir um intervalo de tempo que a força está sendo aplicada. Inicie o movimento do carrinho e ao mesmo tempo inicie o cronômetro, após alguns segundos, pare o cronômetro no mesmo momento que parar a simulação. Anote na tabela a seguir os valores da velocidade final e intervalo de tempo verificado. Calcule a aceleração e preencha a tabela.

M assa (kg)	V elocid ade inicial (m/s)	V elocid ade final (m/s)	I nterval o de tempo (s)	A celeraç ão (m/s ²)	F orça aplica da (N)	F orça de atrito (N)	F orça resultant e (N)
50 kg	5				150 N		
50 kg	5				200 N		
50 kg	5				250 N		

- 13) Pode-se verificar que a aceleração aumentou quando aumentamos a força aplicada. Agora pense e responda: a aceleração é proporcional à força aplicada ou à força resultante?
- 14) Qual a relação que podemos obter entre a força resultante, a massa e a aceleração?
- 15) Você consegue relacionar esta atividade com a realizada nos itens 6 e 7? De que forma?
- 16) No simulador, há um objeto (uma caixa) que não é informado sua massa. Usem a relação discutida para calcular a massa da mesma, após escolher uma força aplicada e calcular a aceleração do carrinho.
- 17) Nesta atividade, vamos calcular o coeficiente de atrito estático e cinético de três objetos distintos. Para calcular o coeficiente de

atrito estático, precisamos conhecer a massa, para calcular a força normal e a força de atrito estática máxima. Para medir a força de atrito cinética, precisamos da força de atrito cinética, para isso temos que aplicar no objeto uma força de modo que o objeto entre em movimento. Faça isso com três objetos diferentes:

Obs: os três objetos devem ter massas distintas.

a) Objeto 1 (Escreva aqui qual objeto você usou):

Massa:

Força de atrito estática máxima:

Força de atrito cinética:

Coefficiente de atrito estático:

Coefficiente de atrito cinético:

b) Objeto 2:

Massa:

Força de atrito estática máxima:

Força de atrito cinética:

Coefficiente de atrito estático:

Coefficiente de atrito cinético:

c) Objeto 3:

Massa:

Força de atrito estática máxima:

Força de atrito cinética:

Coefficiente de atrito estático:

Coefficiente de atrito cinético.

Momento 4: Discussão sobre a 2ª lei de Newton – 20 min

Dinâmica 4: Quando os estudantes terminarem as atividades deverá ser feita uma nova discussão dos resultados encontrados, destacando os seguintes pontos:

- Na primeira atividade, a força resultante corresponde à força aplicada;
- A aceleração é proporcional à força aplicada quando esta for a força resultante;
- A aceleração é inversamente proporcional à massa do corpo que está recebendo a força.
- Nas duas últimas atividades verificamos que a aceleração é proporcional à força resultante, não proporcional à força aplicada. Nas duas primeiras atividades a aceleração foi proporcional à força aplicada porque só havia esta força aplicada na horizontal.

- Podemos estabelecer a seguinte relação entre as grandezas aqui discutidas:

$$F_R = m \cdot a$$

7 Aula 6 - Aplicação da equação da segunda lei de Newton

Tempo estimado: 90 minutos

Objetivos:

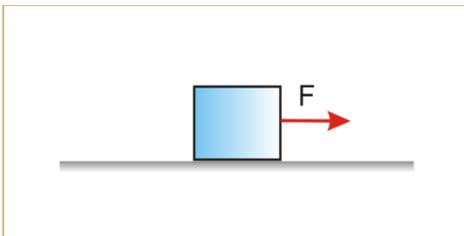
- Aplicar a equação da segunda lei de Newton a diversas situações

Momento 1 – Resolução de atividades – 90 min

Dinâmica 1: Relembrar os conceitos relacionados a segunda lei de Newton discutidos na aula anterior. Na sequência deverão ser realizadas atividades sobre a segunda lei de Newton. As três primeiras atividades devem ser resolvidas pelo professor com a participação dos estudantes.

Questionário 3 – Aula 6 - Aplicação da equação da segunda lei de Newton

- 1) Uma força horizontal, de intensidade 6 N, com sentido para leste age sobre uma mesa de massa 12 kg. Desprezando a força de atrito, determine o valor da aceleração da mesa.
- 2) Duas forças horizontais, de módulos $F_1 = 20$ N e $F_2 = 45$ N, agem ao mesmo tempo sobre uma mesa de massa 5 kg.
 - a) Faça um esquema representando a situação.
 - b) Se as duas forças têm mesma direção e sentido para leste, qual é o valor, a direção e o sentido da aceleração? Dica: Antes de aplicar a segunda lei de Newton, calcule a força resultante.
 - c) Se a força F_1 tem sentido para o leste e a força F_2 para oeste, qual é o valor, a direção e o sentido da aceleração?
- 3) O bloco da figura tem massa igual a 10 kg e repousa sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco e a superfície são, respectivamente 0,4 e 0,3. Dado $g = 10$ m/s².



Aplica-se ao bloco uma força motriz F . Determine a aceleração do bloco se intensidade da força F for:

- a) 10 N
 - b) 50 N
 - c) 70 N
- 4) Forças de 30 N são aplicadas, separadamente, em dois objetos diferentes, A e B, que passam a ter acelerações iguais a 5 m/s^2 e 6 m/s^2 , respectivamente.
 - a) Qual deles possui maior massa?
 - b) Faça os cálculos e comprove sua previsão.
 - 5) O quadro a seguir fornece os valores da força aplicada sobre uma caixa, a partir do repouso, e da aceleração obtida.

Força (N)	1	24	72	120
	2			
Aceleração (m/s^2)	2	5,0	15,	25,
	,5		0	0

Qual é o valor da massa do carrinho?

- 6) Um carrinho varia sua velocidade, de 3 m/s até 6,6 m/s em um intervalo de tempo de 3 s. Sendo sua massa de 2 kg, determine o valor da força aplicada que produziu essa variação. Dica: Calcule primeiramente a aceleração do carrinho usando a equação: $a = \frac{v-v_0}{t}$
- 7) Um veículo de massa 900 kg, acelera e varia sua velocidade de 0 a 72 km/h em 5 s. Nestas condições, determine:
 - a) A aceleração do carro.
 - b) A força resultante atuando no carro.
- 8) Um bloco de 5 kg está apoiado sobre uma superfície horizontal e em repouso. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o bloco e a superfície são, respectivamente 0,5 e 0,3. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$. Calcule a aceleração deste bloco caso ele seja puxado horizontalmente por uma força de intensidade
 - a) 15 N.
 - b) 50 N.

8 Aula 7 - Atividade experimental sobre 2ª lei de Newton

Tempo estimado: 90 minutos

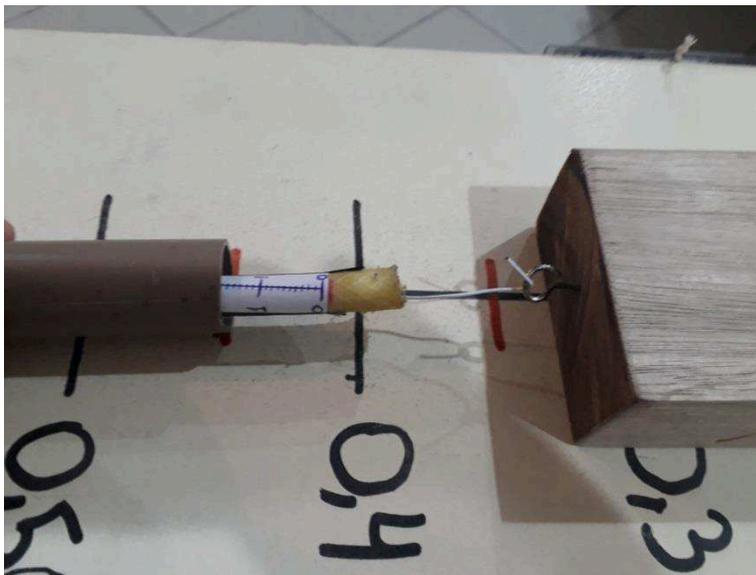
Objetivos:

- Discutir a relação entre a força de atrito e a área de contato
- Aplicar a segunda lei de Newton para um sistema de corpos num plano com atrito
- Determinar o coeficiente de atrito estático e cinético entre o bloco e plano

Momento 1 - Atividade experimental envolvendo a 2ª lei de Newton – 90 minutos

Para esta atividade experimental, serão utilizados dois blocos de madeira de massas distintas com ganchinhos nas extremidades, uma base de madeira (pode ser a própria mesa do professor), dinamômetro, uma roldana, balança para a medida das massas dos blocos e um fio de náilon ou barbante de aproximadamente 70 cm para prender um bloco à outro.

As Imagens a seguir mostram como deverão ser realizadas as atividades experimentais. O dinamômetro foi construído pelo professor antes do início das atividades.





Dinâmica 1: Os estudantes deverão verificar a relação entre as grandezas força, massa e aceleração de um corpo e após a verificação, deverão realizar atividades para a determinação da massa de um objeto puxado e da força exercida sobre este objeto. Para encontrar a medida da aceleração, o movimento do carrinho sobre o trilho deve ser filmado e o vídeo analisado utilizando o aplicativo *Kinemaster*, que permite a visualização em câmera lenta para uma melhor retirada de dados. Este aplicativo funciona somente com o sistema operacional Android 4.1.2 ou acima, e pode ser baixado no próprio smartphone do estudante.

Através da análise do vídeo, os estudantes poderão verificar o intervalo de tempo e o deslocamento do bloco. A aceleração será obtida através da equação

$$\Delta S = v_0 \cdot t + \frac{at^2}{2}$$

onde $v_0 = 0$, pois o carrinho parte do repouso. ΔS corresponde à medida da distância percorrida pelo carrinho e t o de intervalo de tempo decorrido.

Durante o planejamento deste plano de aulas foram feitos testes para encontrar a maneira mais eficaz de determinar a aceleração. Uma das maneiras testadas foi a filmagem a análise de vídeo utilizando o *software freeware* (gratuito) *Tracker*. Este *software* pode ser baixado e instalado no computador e usado sem necessidade de acesso a internet. O tutorial, bem como o link para baixar o *software* pode ser encontrado

no link <http://www.if.ufrgs.br/cref/uab/lab/tracker.html>. O valor da aceleração média determinada pelo *software* foi igual ao valor calculado usando a equação acima citada.

Outra maneira testada foi a seguinte: filmamos o movimento do carrinho; analisando o movimento no aplicativo *Kinemaster*, anotamos numa tabela a posição e o instante do carrinho; esboçamos o gráfico de posição versus tempo; determinamos a velocidade média em cada trecho do gráfico; esboçamos o gráfico de velocidade versus tempo; calculamos a aceleração através da inclinação da melhor reta. A diferença entre os valores encontrados para aceleração com o aplicativo *Kinemaster* e com o uso do Tracker foi de 20%. Desta forma, decidimos utilizar o aplicativo *Kinemaster*.

Na primeira parte da atividade devemos utilizar a segunda lei de Newton para determinar o valor do coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco e a superfície. Na atividade experimental sobre força de atrito, foi verificado apenas que a força de atrito depende de dois fatores: força normal e coeficiente de atrito. Agora faremos um estudo mais aprofundado de força de atrito e segunda lei de Newton.

Roteiro 5 - Aula 7 – Atividade experimental num plano horizontal com atrito

- 1) Meça as dimensões do bloquinho, e calcule a área de cada uma das 3 superfícies:
 Área maior:
 Área média:
 Área menor:
- 2) Com o plano na horizontal, coloque um bloquinho de madeira sobre o plano, e use o dinamômetro para puxar o bloquinho. Puxe devagar para poder verificar qual o valor da força máxima necessária para fazer o bloco se mover. Anote este valor da força máxima. Meça a massa do bloquinho e calcule o valor do coeficiente de atrito estático entre o bloquinho e a superfície.
 Área apoiada:
 Massa do bloquinho:
 Força máxima aplicada:
 Força de atrito estática:
 Coeficiente de atrito estático:
- 3) Repita o procedimento anterior, mas agora vire o bloco para que uma superfície de tamanho diferente seja apoiada sobre o plano.

Área apoiada:

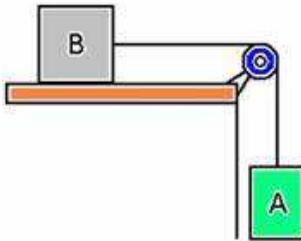
Massa do bloquinho:

Força máxima aplicada:

Força de atrito estática:

Coefficiente de atrito estático:

- 4) Houve diferença nos coeficientes de atrito calculados anteriormente? Justifique sua resposta.
- 5) Agora você irá determinar o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco e a superfície. O esquema a seguir mostra como será realizada nossa atividade.



- 6) Primeiramente vamos analisar quais as forças que agem nos blocos (discutir quais as forças que agem nos blocos na figura acima). Como nosso foco é determinar o coeficiente de atrito entre o bloco B e a superfície, vamos focar neste bloco. As forças que agem são: força de tração na corda e força de atrito na horizontal; força peso e força normal na vertical. Estas duas últimas se anulam. Na horizontal teremos:

$$\text{Bloco B: } T - Fa = M_B \cdot a$$

$$\text{Isolando a força de atrito, chegamos a: } Fa = T - M_B \cdot a$$

Precisamos do valor da tensão para determinar o valor da força de atrito. Para isso, usamos as relações para o bloco A:

$$\text{Bloco A: } P_A - T = M_A \cdot a$$

Isolando o T:

$$T = P_A - M_A \cdot a$$

Agora que já sabemos as equações para determinar o valor da força de atrito, precisamos calcular também a aceleração. Faremos isto fazendo a filmagem e usando um valor de deslocamento e intervalo de tempo correspondente.

- 7) Posicione o carrinho como mostra o esquema anterior. Inicie a filmagem antes de soltar o carrinho. Ao terminar a filmagem analise o vídeo no aplicativo Kinemaster anote os dados a seguir.

Importante: o instante inicial corresponde ao momento que o bloquinho inicia o movimento e o instante final o momento que o carrinho chega ao final do plano.

Massa pendurada:

Massa do bloquinho puxado:

Área de contato do bloquinho puxado:

S(m)	t(s)

$\Delta S =$

t =

Aceleração:

Tensão na corda:

Força de atrito dinâmica:

Coefficiente de atrito dinâmico:

- 8) Repita o procedimento anterior mas com o bloquinho virado de modo que a área de contato seja diferente.

Massa pendurada:

Massa do bloquinho puxado:

Área de contato do bloquinho puxado:

S(m)	t(s)

$\Delta S =$

t =

Aceleração:

Tensão na corda:

Força de atrito dinâmica:

Coefficiente de atrito dinâmico:

- Qual a conclusão você pode chegar a respeito do coeficiente de atrito dinâmico e a área de contato do bloco com o plano?

9 Aula 8 - Atividade experimental sobre 2ª lei de Newton

Tempo estimado: 90 minutos

Objetivos:

- Aplicar a segunda lei de Newton para um sistema de corpos num plano sem atrito
 - Observar e discutir a relação de proporcionalidade entre a força aplicada e a aceleração
 - Observar e discutir a relação inversamente proporcional entre a massa do corpo e a aceleração.

Momento 1 - Investigando a relação entre força, massa e aceleração – 90 min

Neste experimento será utilizado o trilho de ar como mostra a imagem a seguir. Serão necessárias três massinhas (podem ser três pedaços de borracha de massas que variam de 6 g a 15 g).

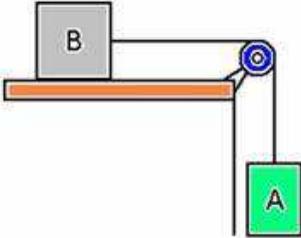


Dinâmica 1: Proceder da mesma forma que foi a atividade com a simulação, preenchendo uma tabela para discutir a segunda lei de Newton. Para isso, deverão ser realizados três movimentos com massas diferentes sendo puxadas por um peso constante. Eles terão que preencher a tabela com o valor da aceleração, da massa do carrinho, da massa pendurada, massa total e do peso da massa pendurada, que

corresponde à força aplicada no sistema composto pelo carrinho e pela massa pendurada.

Roteiro 6 - Aula 8 - Atividades experimental num plano horizontal sem atrito

1) O esquema a seguir mostra como será realizada nossa atividade.



2) Use a câmera do celular para fazer a filmagem do movimento do carrinho. É necessário ainda que o celular tenha instalado o aplicativo *Kinemaster* para a análise do vídeo. Será analisado o movimento de três carrinhos de massas distintas. Prenda os carrinhos, um a um como mostra o esquema anterior. Solte o sistema no momento que já tiver iniciado a filmagem. Analise o vídeo em câmera lenta e anote os dados referentes a posição e instante para cada um dos três carrinhos. **IMPORTANTE:** o instante inicial corresponde ao momento que o carrinho inicia o movimento.

S(m)	t(s)

Carrinho pequeno

$\Delta S =$

t =

S(m)	t(s)

Carrinho médio

$\Delta S =$

t =

S(m)	t(s)

Carrinho grande

$\Delta S =$

t =

- 3) Com o deslocamento e o intervalo de tempo encontrado na tabela acima, calcule a aceleração de cada carrinho usando a equação $\Delta S = v_o \cdot t + \frac{at^2}{2}$
- 4) Preencha a tabela seguinte com os dados que estão faltando

D eslocam ento (m)	T empo (s)	A celeraçã o (m/s ²)	M assa do carrinh o (kg)	M assa pendura da (kg)	M assa total (kg)	F orça aplicad a (N)

Fonte: O autor.

- 5) A relação de proporcionalidade entre força, massa e aceleração é verificada neste experimento? Justifique sua resposta.

Através da análise da tabela já preenchida, os estudantes poderão verificar se a aceleração é inversamente proporcional à massa

do conjunto, quando a força aplicada é mantida constante. Esperamos que neste experimento o estudante possa verificar novamente que a força aplicada é igual ao produto da massa total pela aceleração do conjunto. É possível que os dados experimentais não sejam exatamente o esperado, mas será possível verificar que quanto maior a massa do conjunto, menor será a aceleração do carrinho.

Na segunda parte do experimento, os estudantes deverão verificar a relação entre a força aplicada e a aceleração do conjunto, mas não será possível manter a massa constante. Isso porque quando aumentamos a massa que está pendurada para que a força aplicada seja maior, estamos aumentando a massa do conjunto. Mesmo com este detalhe, será possível verificar que a aceleração do conjunto é proporcional a força aplicada. Aumentando-se somente a massa pendurada, aumenta-se a força aplicada no carrinho que está sobre o trilho, aumentando assim sua aceleração também. Os estudantes deverão preencher a seguinte tabela para a análise do movimento.

- 6) Nesta atividade, vamos manter o mesmo carrinho nos três movimentos. Vamos variar apenas a massa pendurada. Desta forma, a força que faz o carrinho se mover é maior. O que você espera que acontece com a aceleração do carrinho quando aumentamos a massa pendurada?
- 7) Faça a filmagem como na atividade anterior e preencha as tabelas a seguir com as informações de posição e instante. Não se esqueça que o instante inicial corresponde ao momento que o carrinho inicia o movimento

S(m)	t(s)

Massa pequena

$$\Delta S = \quad t =$$

S(m)	t(s)

Massa média

$$\Delta S = \quad t =$$

S(m)	t(s)

Massa grande

$$\Delta S = \quad t =$$

- 8) Use a equação da questão 3 e calcule novamente a aceleração do carrinho, preenchendo novamente a tabela.

D eslocame nto (m)	T empo (s)	A celeração (m/s ²)	M assa do carrinho (kg)	M assa pendura da (kg)	M assa total (kg)	F orça aplicad a (N)

- 9) Sua hipótese descrita na questão 6 esta correta?
- 10) Qual relação pode ser verificada entre a força aplicada e a aceleração do carrinho? Esta relação esta de acordo com a verificada na simulação? Se for preciso volte nas páginas da atividade com a simulação.
- 11) A relação estabelecida pela segunda lei de Newton foi verificada nesta atividade? Sim ou não, justifique sua resposta.

Esperamos que os estudantes percebam que quanto maior a força aplicada maior será a aceleração do carrinho. Espera-se ainda que os

estudantes percebam que o valor da força aplicada é igual ao produto da massa pela aceleração do conjunto. Caso os resultados não mostrem essa relação, deverão ser discutidas as principais causas deste desvio em relação ao esperado. Pode ser força de atrito, erro no momento de tirar os dados do vídeo, erro de cálculo quando foi preenchida a tabela, etc.

Na sequência da atividade, os estudantes deverão calcular a massa de dois carrinhos através do valor da aceleração em um movimento e da força aplicada (peso da massa pendurada). Para isso, o valor da massa pendurada será fornecida e a aceleração será determinada como nos casos anteriores, através de um deslocamento e de um intervalo de tempo.

- 12) Assim como foi feito anteriormente, você deverá colocar uma massa pendurada por um fio e preso ao carrinho. Faça a filmagem do experimento assim como nos casos anteriores e calcule a aceleração. Meça também a massa pendurada para poder determinar a força aplicada no sistema. Em seguida, calcule a massa do carrinho que está sobre o trilho com os valores da tabela. Use a 2ª lei de Newton para fazer os cálculos das massas do carrinho.

D eslocame nto (m)	emp o (s)	celeraç ão (m/s ²)	assa do carrin ho (kg) (valor calcul ado)	assa pendu rada (kg)	assa tota l (kg)	orça aplic ada (N)	assa do carrin ho (kg) (valo r real)	erro percen tual

Fonte: O autor.

10 Aula 9 - Aplicando os conceitos estudados em um plano inclinado

Tempo estimado: 90 minutos

Objetivos:

- Compreender a relação entre o ângulo de inclinação e a força necessária para empurrar um corpo para cima de uma plano inclinado
- Discutir as forças que agem em um corpo num plano inclinado

Momento 1 - Contextualização inicial – 20 min

Dinâmica 1: Propor uma contextualização inicial e para tanto utilizar situações do cotidiano. Primeiramente deverá ser mostrado a imagem de um ciclista em movimento subindo um morro e outro descendo um morro.

Figura 40 - Ciclista subindo um morro



Fonte: Disponível em:

<

Figura 41 - Ciclista descendo um morro



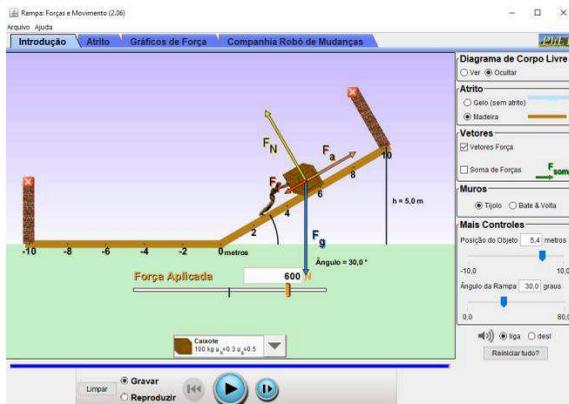
Fonte: Disponível em:

<[Através de um debate, os estudantes deverão responder as perguntas:](https://www.google.com.br/search?biw=1366&bih=662&tbn=isch&sa=1&ei=5CEqW5PzB4KAwgS4wp7ABw&q=ciclista+descendo+um+morro+&oq=ciclista+descendo+um+morro+&gs_l=img.3...21931.22080.0.22530.3.3.0.0.0.186.281.1j1.2.0...0...1c.1.64.img..2.0.0...0.iiOASFzxiew#imgrc=RYMvmVJJOfsAqM:> Acesso em 19/06/2018.</p>
</div>
<div data-bbox=)

- Por que o ciclista consegue descer o morro com tanta facilidade e ao subir, ele apresenta dificuldade?
- Quais são as forças que fazem que isto ocorra?

O intuito da questão é fazer os estudantes chegarem a conclusão de que exista uma força no sentido de cima para baixo da rampa. Tanto na subida quanto na descida da rampa, há força de atrito e resistência com o ar, mas há ainda a componente da força peso na direção do plano inclinado.

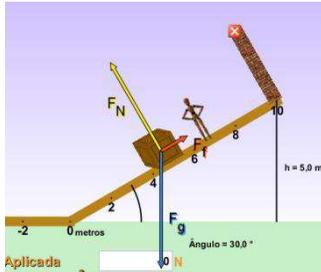
Outra situação análoga a anterior acontece quando tentamos empurrar um objeto para cima ou para baixo de um plano inclinado. Para discutir sobre as forças aplicadas em um corpo em um plano inclinado deverá ser utilizada a simulação do PhET denominada *Rampa: Forças e Movimento* (Disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics).



A simulação mostra o diagrama de forças que atuam no caixote. Quando o caixote está num plano horizontal, são mostradas as forças peso e normal. Quando é aplicada uma força sobre o caixote, aparecem também a intensidade da força aplicada e a força de atrito. Discutir com os estudantes sobre estas forças, relacionando com a simulação utilizada nas aulas anteriores. Quando o caixote está num plano inclinado, será necessário fazer a decomposição da força peso. Ao decompor a força peso, é possível verificar que existe a componente da força peso que aponte para baixo da rampa. Isto explica o fato de existir uma força que aponta para baixo da rampa, que dificulta o movimento para cima e facilita o movimento para baixo no caso do movimento da bicicleta discutido anteriormente. Deverá ser mostrado aos estudantes como utilizamos a trigonometria para determinar o valor da componente do peso na direção x e na direção y . Devem ser fornecidos pelo menos 3 exemplos de cálculos, para que os estudantes percebam que o valor da componente do peso na direção x (que aponta para baixo do plano inclinado) aumenta quando aumentamos a inclinação da rampa.

Os exemplos discutidos serão:

- 1) Coloque o caixote no plano inclinado e solte-o. Pare a simulação quando o caixote estiver em movimento como mostra a figura:



Junto ao diagrama, faça a decomposição da força peso. Em seguida, calcule o valor de cada componente do peso. Qual o valor da força normal atuando no bloco?

- 2) Repita o procedimento anterior mas com um ângulo de inclinação igual a 45°
- 3) Repita novamente o procedimento, mas com um ângulo de 60° .
- 4) Quando aumentamos o ângulo de inclinação da rampa, o que ocorre com os valores de cada componente do peso? E com o valor da força normal? Justifique sua resposta.

Durante a discussão realizada sobre as forças aplicadas no caixote no plano inclinado, os estudantes já podem ser instruídos sobre sua manipulação para que em seguida eles possam realizar a atividade. Na sequência da aula, os estudantes deverão realizar a seguinte atividade com a simulação.

Momento 2 - Utilizando o simulador do Phet – *Rampa: Forças e Movimento* - 60 minutos

Dinâmica 2: Os estudantes devem seguir o seguinte roteiro.

Roteiro 7 - Aula 9 – Atividade sobre plano inclinado com simulação.

- 1) Analisando o plano horizontal: Utilize o simulador nas configurações iniciais. Insira o valor de 200 N para a força aplicada (F_a) pelo homem, aperte o botão de gravar e iniciar, então, observe, descreva e explique o que acontece.
- 2) Mude o objeto empurrado. Agora faça o mesmo experimento mas com o arquivo, de massa 50 kg. Observe e explique o que acontece.
- 3) Mude novamente o objeto, colocando sobre o plano o Totó, aplicando a mesma força de 200 N. Observe e explique o que acontece. Justifique sua resposta.
- 4) Utilizando a expressão matemática da máxima força de atrito estática, calcule o valor da força a ser aplicada pelo homem para

colocar o objeto na eminência de movimento. Faça isso com os três objetos anteriores:

- a) Caixote
 - b) Arquivo
 - c) Totó
- 5) Adote uma força aplicada pelo homem acima do valor encontrado no item anterior e verifique, clicando no botão iniciar que libera a animação e inicia a gravação, se, de fato, o simulador passa a representar o objeto em movimento. Faça isso para os três objetos. Escreva nos itens a seguir o resultado encontrado.
- a) Caixote
 - b) Arquivo
 - c) Totó
- 6) Represente as forças que atuam sobre o corpo. Como você faria para determinar a força resultante que atua sobre o objeto empurrado? Qual é o seu valor? Calcule a força resultante para cada objeto. (Dica: agora o objeto está se movimentando, então qual o coeficiente de atrito que se deve usar?)
- a) Caixote
 - b) Arquivo
 - c) Totó
- 7) Esta atividade será realizada com o caixote. Uma vez em movimento sob a ação da força aplicada usada no item anterior, o caixote começará a subida na rampa. Ao longo desta subida, quais forças agem contrariamente à força aplicada pelo homem? Quais os valores destas forças, bem como os valores da força resultante e da aceleração que caracterizam o movimento do caixote nesta subida?
- 8) Recoloque o sistema em sua configuração inicial. Altere a inclinação da rampa para 20° e posicione o caixote sob a rampa. Após este posicionamento, não aplique força no caixote. Nesta situação, quais as forças que atuam no caixote. Determine seus valores, assim como os valores das componentes x e y do peso.
- 9) A partir da inclinação de 20° , aumente gradualmente a inclinação e descubra qual o ângulo que deixa o caixote na situação de iminência de movimento (para tanto, o botão iniciar precisa estar ativado). Use este ângulo para calcular o valor do coeficiente de atrito estático e compará-lo com o valor indicado pelo simulador.
- 10) Recoloque o sistema em sua configuração inicial, posicione o caixote em algum lugar sob a rampa (anote a posição escolhida), pare de aplicar a força e inicie a simulação. Nesta situação, qual o

valor da força resultante atuante sobre o caixote enquanto ele desce a rampa?

- 11) Uma vez em movimento sob atuação desta força resultante, qual o valor da aceleração do caixote e com que velocidade ele chega ao final da rampa?

Momento 3: Atividades envolvendo o plano inclinado – 10 minutos

Dinâmica 3: Os estudantes devem resolver a seguinte lista de atividades. Caso não seja possível resolver na escola, os estudantes poderão levar para terminar em casa.

Questionário 4 - Aula 9 – Atividades sobre força de atrito

- 1) Os egípcios já utilizavam o plano inclinado na construção das pirâmides há 4000 anos atrás. O que você pode afirmar a respeito da inclinação da rampa e a força aplicada pelos egípcios no transporte das enormes pedras da base da montanha à parte superior da mesma?

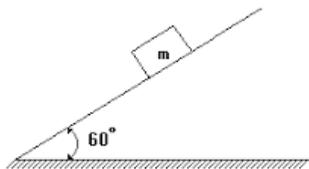


- 2) Um corpo de massa $m = 10 \text{ kg}$ está apoiado num plano inclinado de 30° em relação à horizontal, sem atrito, e é abandonado no ponto A, distante 20 m do solo. Supondo a aceleração da gravidade no local de módulo $g = 10 \text{ m/s}^2$, determinar:

Dica: Primeiro faça um esquema para representar a situação e faça o diagrama de forças que agem no bloco.

- a) a aceleração com que o bloco desce o plano;
- b) a intensidade da reação normal sobre o bloco;
- c) o tempo gasto pelo bloco para atingir o ponto B;
- d) a velocidade com que o bloco atinge o ponto B.

- 3) No plano a seguir sabe-se que o coeficiente de atrito estático vale 0,6 e o dinâmico vale 0,4, a massa na rampa mede 5 kg. Nesta situação, faça o que se pede.



- Represente as forças que agem no bloco.
- Calcule as componentes do peso do bloco.
- Calcule a força resultante atuando no bloco.
Determine a aceleração da caixa.

11 Aula 10 - Experimentos sobre plano inclinado

Tempo estimado: 90 minutos

Objetivos:

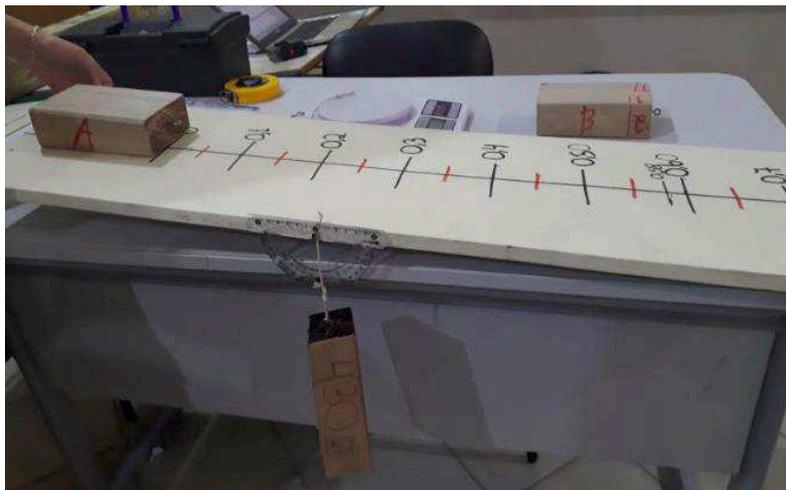
- Determinar o coeficiente de atrito estático e dinâmico entre um objeto e o plano
- Aplicar na prática os conceitos discutidos na simulação

Momento 1: Discussão dos conceitos estudados na aula anterior utilizando o simulador – 10 minutos

Dinâmica 1: Com o uso da simulação, deverão ser discutidos alguns conceitos estudados na aula anterior, como: como determinar o valor da força de atrito; quais as forças que agem no bloco no plano inclinado; decomposição de forças; movimento ou repouso do bloco no plano inclinado; força resultante; força resultante num plano horizontal (se o bloco está em movimento com velocidade constante, é porque a força de atrito será igual a força de atrito dinâmico); entre outros que poderão ser dúvidas dos estudantes.

Momento 2: Aplicando os conceitos experimentalmente.

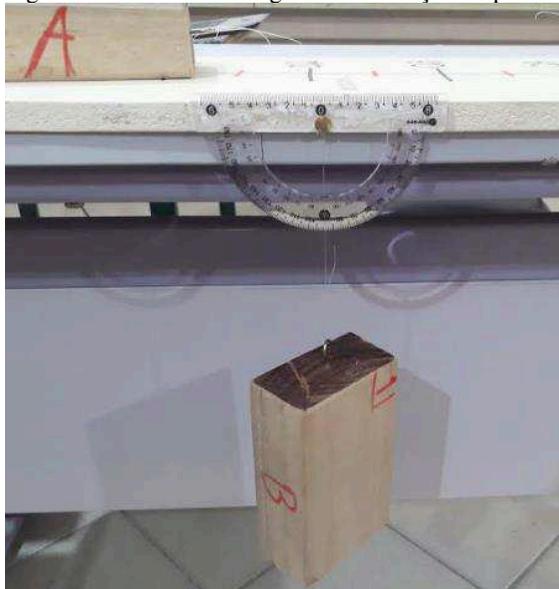
Para este experimento serão utilizados blocos de madeira, a base de madeira utilizado no experimento da segunda lei de Newton e um transferidor. A montagem do experimento é mostrada na figura a seguir.



A medida do ângulo de inclinação pode ser realizada prendendo-se um transferidor no plano, juntamente com um barbante preso a um

bloco de madeira, como mostra a imagem seguinte. É importante discutir com os estudantes que o número indicado com o plano na horizontal é de 90° . Desta forma, o ângulo medido para a inclinação do plano corresponde ao ângulo indicado menos 90 .

Figura 42 – Medindo o ângulo de inclinação do plano

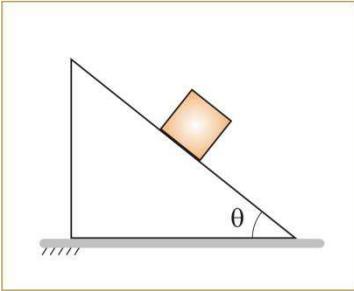


Fonte: O autor.

Dinâmica 2: Os estudantes deverão realizar uma atividade com o plano horizontal e inclinado para discussão dos conceitos acima citados. Para isso, eles deverão seguir o seguinte roteiro.

Roteiro 8 - Aula 10 – Atividade experimental num plano inclinado

1) Escrevam quais as forças que atuam no bloco na seguinte situação:



Discutir com professor e estudantes a resposta desta questão.

- 2) Vamos determinar o coeficiente de atrito estático num plano inclinado. Coloque o bloquinho sobre o plano inclinado. A partir deste momento use a filmadora do celular para filmar o que ocorre com o bloquinho. Vá aumentando a inclinação da rampa, devagar e verificando sempre o ângulo de inclinação até o momento que o bloco inicia o movimento de descida da rampa. Anote os valores a seguir e calcule os que forem necessários.

Área de contato do bloquinho com a rampa:

Massa do bloquinho:

Ângulo de inclinação da rampa:

Peso do bloquinho:

Componente P_x do peso:

Componente P_y do peso:

Força normal:

Força de atrito estática máxima:

Coeficiente de atrito estático:

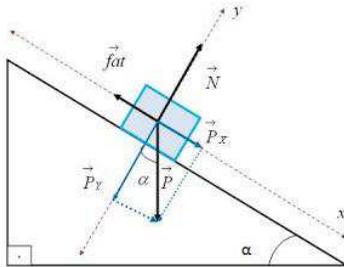
- 3) Utilizando a filmagem e o aplicativo *Kinemaster*, use o deslocamento do bloco e o intervalo de tempo decorrido para calcular a aceleração do bloco.

S(m)	t(s)

$\Delta S =$

t =

- 4) Sabemos que as forças que agem no bloco quando ele desce a rampa são mostradas na figura seguinte.



Aplicando a 2ª lei de Newton, verificamos que:

$$P_x - F_{at} = m.a$$

Isolando o valor da força de atrito, chegamos a:

$$F_{at} = P_x - m.a,$$

onde m é a massa do bloco e “ a ” é a aceleração que ele desce a rampa.

Anote os dados a seguir e determine o valor da força de atrito dinâmico e o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco e a superfície.

Área de contato do bloquinho com a rampa:

Massa do bloco:

Aceleração:

Ângulo de inclinação:

Componente P_x :

Componente P_y :

Normal:

Força de atrito dinâmico (f_{at}):

Coeficiente de atrito dinâmico:

- 5) Repita os procedimentos realizados nas questões 2, 3 e 4 mas com o bloco virado de modo que a área de contato seja diferente.

Área de contato do bloquinho com a rampa:

Massa do bloco:

Ângulo de inclinação:

Componente P_x :

Componente P_y :

Normal:

Força de atrito estática máxima:

Coefficiente de atrito estático:

S(m)	t(s)

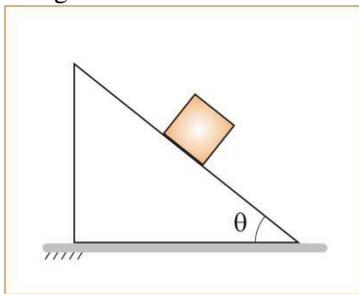
$\Delta S =$

t =

Aceleração:

Coefficiente de atrito dinâmico:

- 6) Os valores de coeficiente de atrito dinâmicos calculados anteriormente foram iguais ou diferentes? Qual o principal fator que influenciou nestes valores?
- 7) Neste momento, vamos fazer o estudo das forças que agem em um carrinho descendo um plano inclinado sem atrito. Desenhe na figura a seguir quais forças agem no carrinho quando ele está sobre o trilho de ar ligado.



- 8) Assim como fizemos no plano com atrito, será filmado e reproduzido em câmera lenta para podermos analisar as posições e os instantes que o carrinho passa por determinada posição para podermos determinar a aceleração do carrinho. Escolha uma inclinação, posicione o carrinho na parte superior do plano, inicie a filmagem e solte o carrinho. Anote os valores na tabela seguinte.

S(m)	t(s)

$\Delta S =$

t =

- 9) Com os dados da tabela acima, calcule a aceleração do carrinho usando o mesmo método anterior.
- 10) Com o valor da aceleração calculada anteriormente, use a equação $a = g \cdot \sin\theta$ e determine o valor da aceleração gravitacional. Compare com o valor teórico ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$). Discuta o resultado encontrado (se foi parecido ou se foi diferente justifique o resultado encontrado).

As atividades deverão ser acompanhadas pelo professor para tirar as dúvidas que possam aparecer.

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma dificuldade para a aplicação pode ser a demanda de computadores disponíveis em funcionamento. Caso a escola não tenha computadores disponíveis, a simulação *Força e Movimento* pode ser utilizada nos *smartphones* dos estudantes. Em relação à simulação *Rampa: Força e Movimento* é necessário que esteja instalado o *software* Java para a simulação rodar. Caso não seja possível, a discussão poderá ser realizada com o computador do professor, projetando-a no quadro.

Na sequência aplicada, percebemos que muitos estudantes tiveram dificuldades de associar força de atrito com força normal, associando-a com peso ou com a massa. No trabalho de Besson et al. (2007), é proposto que atividades com força de atrito não sejam realizadas somente num plano horizontal, para que os estudantes não relacionem força de atrito com força peso. Os autores propõem atividades com força de atrito na vertical. Desta forma, o atrito ocorre pressionando um objeto numa parede vertical. Assim sendo, a força normal não está relacionada com o peso. Esta abordagem pode ser acrescentada na atividade experimental para a discussão de força de atrito estática.

A atividade para a determinação da força de atrito estática mostrou algumas dificuldades. Dentre elas podemos apontar a dificuldade de puxar o dinamômetro sempre da mesma maneira, influenciando na determinação da força de atrito estática máxima. Além disso, muitos estudantes tiveram dificuldades de fazer a leitura no dinamômetro quando o valor da força aplicada variava. Desta forma, propomos que a atividade para a determinação da força de atrito estática máxima possa ser realizada com o uso de plano inclinado. O valor do coeficiente de atrito estático pode ser obtido também através da equação proposta por Euler (coeficiente de atrito estático igual à tangente da inclinação do plano).

Recomenda-se que na atividade experimental para a determinação do coeficiente de atrito cinético, os cálculos das grandezas envolvidas sejam pedidos aos poucos para não elevar a carga cognitiva. Por exemplo, com os dados de posições e instantes, os estudantes determinam a aceleração. Quando eles terminarem, poderá ser solicitado o cálculo da tensão na corda, e na sequência o valor da força de atrito. Por último pode ser solicitado o cálculo do coeficiente de atrito cinético.

Quando o estudante adquirir experiência, poderão ser solicitados estes cálculos em uma mesma questão.

Foi observado que na atividade com o plano sem atrito, os estudantes não encontraram um resultado satisfatório para a relação da segunda lei de Newton. Fazendo-se uma análise quantitativa da relação entre força aplicada, massa do carrinho e variação de velocidade, percebemos que quanto maior a força aplicada, maior é a variação de velocidade mantendo-se a massa do carrinho constante. Quanto maior é a massa do carrinho, menor é a variação da velocidade mantendo-se a força aplicada constante. Quando analisada quantitativamente, atribuindo valores na equação $F = m \cdot a$, os estudantes observaram que o produto da massa do carrinho pela aceleração deu um valor bem abaixo da força aplicada. Este experimento também foi proposto por Hessel, Santos e Canola (2011). No presente trabalho, foi utilizado um trilho de ar profissional, e os estudantes também encontraram um valor menor para o produto da massa pela aceleração do carrinho. Neste caso, a justificativa foi a presença de forças de atrito.

Outra dificuldade presente nesta atividade sobre segunda lei de Newton foi no uso do aplicativo Kinemaster. Muitos estudantes não conseguiram observar com clareza o momento que o bloco inicia e termina o movimento. É necessário que o *smartphone* utilizado tenha uma câmera com boa resolução para uma visualização precisa. É possível que a atividade seja filmada e a análise seja feita por um computador com o aplicativo Tracker. Neste caso, é necessário que o vídeo seja transferido ao computador. Este aplicativo fornece o valor da velocidade instantânea do bloco, assim como as posições e aceleração do mesmo. Recomenda-se que assim como qualquer outro aplicativo, o professor ensine os estudantes a utilizá-lo para não elevar a carga cognitiva presente na atividade.

Apesar de encontrarmos algumas dificuldades, a sequência de aulas proporciona uma participação ativa dos estudantes. Como as atividades com simulações e experimentos fogem da rotina de quadro e giz, seguidas por resolução de exercícios, os estudantes sentem-se interessados nas atividades.

A manipulação da simulação permite ao estudante a reflexão sobre diversos fenômenos físicos estudados, como por exemplo, sobre os efeitos causados por uma força maior, menor ou igual a força de

atrito aplicada em um corpo. A dificuldade de representar objetos em movimentos é superada com a utilização da simulação.

Esta manipulação da simulação proporciona aos estudantes uma melhor preparação para realizar os procedimentos dos roteiros das atividades experimentais. Desta forma, é comum que os estudantes realizem uma quantidade maior de perguntas teóricas durante as atividades experimentais, sobre a física envolvida no experimento. Caso não sejam realizadas atividades prévias com simulação, os estudantes necessitarão de ajuda mais frequente na coleta e análise de dados. Os estudantes que realizam as atividades com simulação, desenvolvem esquemas mais completos sobre o conteúdo abordado e, portanto, tem capacidade cognitiva disponível para pensar sobre o que eles estão fazendo, o que está de acordo com a justificativa de que o nível de conhecimento do estudante afeta o desempenho em atividades futuras.

A utilização de um roteiro para a realização das atividades com simulação e experimentos é eficiente, pois fornece aos estudantes que não tem experiência com o uso de simulações elaboradas para o ensino, um caminho a ser seguido, com instruções e fenômenos a serem observados e explicados.

Apesar de o roteiro fornecer um caminho a ser seguido, alguns conceitos precisam de uma discussão com o professor para ocorrer uma ressignificação dos conceitos, pois o professor pode chamar a atenção de aspectos da simulação e das atividades experimentais que os estudantes não percebem sozinhos (LEAL et al, 2015).

Em resumo, a combinação de experimentos e simulação melhora o aprendizado. Alguns dos motivos para esta melhora são: cada método (simulação e experimentação) possui características únicas que são necessárias para promover uma compreensão mais profunda sobre determinado assunto (JAAKKOLA e NURMI, 2007); a atividade prévia com simulação favorece ao estudante a utilização de conceitos científicos mais facilmente durante o laboratório. Como prevê a TCC, o conhecimento prévio do estudante afeta o que será aprendido (WINBEG e BERG, 2005); as atividades com simulação e experimentação têm grande potencial de atrair o interesse dos estudantes (SANTOS E DICKMAN, 2019).

REFERÊNCIAS

Acervo educarede. Disponível em: <
<http://www.aberta.org.br/educarede/tag/leis-de-newton/>> Acesso em 07
de junho de 2018.

BESSON, U. et al. How to teach friction: experiments and models. *American Journal of Physics*, 75(12), p. 1106 – 1113, 2007.

CATELLI, F.; GIOVANNINI, O.; LAURIDO, V. G. “Demonstração” da lei da inércia?. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. vol. 38, nº 4, 2016.

CRISTÓVÃO, A. M. Forças e Movimento: Proposta de Atividades com Simulações Computacionais. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal de Santa Catarina. Araranguá, 2017.

DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V. **Física**. Vol. 1. Mecânica. Editora Saraiva. São Paulo, 2013.

HESSEL, R., SANTOS, R. C. M., CANOLA, S. R. **A segunda lei de Newton – uma verificação experimental**. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física, Manaus, 2011.

JAAKKOLA, T.; NURMI, S. **Fostering elementary school students’ understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities**. Finland: Turku, 2007.

LEAL, A. C. S. et al. **Utilização de simulação computacional, experimento e intermediação do professor no ensino de movimento de projéteis para o ensino médio**. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, 2015.

SANTOS, J. C., DICKMAN, A. G. Experimentos reais e virtuais: proposta para o ensino de eletricidade no nível médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 41, nº 1, 2019.

SANTOS, T. F. M.; SANTOS, P. J. S. Relato e análise de uma sequência didática sobre forças de atrito com uso de kits de robótica

educacional no primeiro ano do ensino médio. **Revista Novas Tecnologias na Educação**. Vol. 16 n° 2, 2018.

SILVA, S. L. L. A primeira Lei de Newton: uma abordagem didática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. vol. 40, n° 3, 2018.

WINBERG, T. M.; BERG, C. A. R. **Students' Cognitive Focus During a Chemistry Laboratory Exercise: Effects of a Computer-Simulated Prelab**. 2005.