

## Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton<sup>+</sup>\*

---

*Alex Bellucco*

Universidade do Estado de Santa Catarina

Joinville – SC

*Anna Maria Pessoa de Carvalho*

Faculdade de Educação – USP

São Paulo – SP

### Resumo

*Com o intuito de contribuir para a melhoria do ensino de física, que passa por uma crise refletida pela ínfima procura por cursos de ciências exatas, apresentamos uma proposta de Sequência de Ensino Investigativa (SEI) planejada para o desenvolvimento de situações argumentativas, ou seja, atividades essenciais no processo de aprendizagem. Inicialmente mostramos as características específicas (ou campo dependentes) da argumentação científica que pretendemos potencializar: seriação, classificação e organização de informações, levantamento e teste de hipóteses, justificativa, explicação, previsão, abdução, dedução, indução, raciocínio lógico e proporcional. Em seguida discutimos o que constitui tal proposta de ensino, envolvendo a formulação de um problema e a elaboração de hipóteses a partir das concepções dos estudantes para sua resolução, chegando à passagem da linguagem cotidiana para a científica. Por fim, expomos a sequência de atividades. Focamos*

---

<sup>+</sup> A proposal for Inquiry-Based Teaching Sequence about momentum, its conservation and Newton's laws

<sup>\*</sup> *Recebido: setembro de 2013.  
Aceito: novembro de 2013.*

*em um tema pouco abordado nas turmas de nível médio, que é a quantidade de movimento e sua conservação, e fundamentado neste estudo, introduzimos atividades para o ensino das leis de Newton. Propomos o uso de experimentos investigativos, questões e problemas abertos e textos ao longo das aulas.*

**Palavras-chave:** *Sequências de Ensino Investigativas. Quantidade de Movimento. Argumentação. Leis de Newton.*

### **Abstract**

*Aiming to contribute to the improvement of Physics teaching, which goes through a crisis reflected by very small demand for courses in exact Sciences, we propose an Inquiry-Based Teaching Sequence (IBTS) planned to develop argumentative situations, i.e., essential activities in the learning process. Initially we show the scientific argumentation, the specific characteristics (or dependent field) we intend to potentialize: seriation, sorting and organizing information, survey and hypotheses test, justification, explanation, prediction, abduction, deduction, induction, logical and proportional reasoning. Then we discuss what constitutes such teaching proposal, involving the formulation of a problem and the elaboration of hypotheses from the conceptions of students to its resolution, coming to the verbal language passage for the Science one. Finally, we explain the sequence of activities. We focus on a subject rarely discussed in High School classes, which is the linear momentum and its conservation, and based on this study, we introduce activities for Newton's laws teaching. We propose the use of inquiry experiments, issues and inquiry problems and texts during the classes.*

**Keywords:** *Inquiry-Based Teaching Sequences-IBTS. Linear Momentum. Argumentation. Newton's Laws.*

## **I. Introdução**

Nas últimas décadas o ensino de física e das disciplinas científico-tecnológicas passa por uma crise (FOUREZ, 2003) que reflete em um esvaziamento

to dos cursos de ensino superior relacionados às chamadas ciências exatas, a ponto de existir uma carência deste tipo de profissional na sociedade.

No Brasil, além da desvalorização dos profissionais da educação (BRASIL, 2007), este fato alarmante também pode ser atribuído em parte ao ensino denominado tradicional, no qual o aluno é considerado uma “jarra vazia” na qual o professor irá “despejar” o conhecimento.

Resumidamente, nesta concepção, amplamente criticada em literatura especializada, ensinar e aprender envolve a transmissão dos conteúdos pelo docente e a recepção direta dos mesmos pelo aluno, desconsiderando, por exemplo, a influência dos processos pessoais e sociais de aprendizagem (DRIVER *et. al.*, 1999) e a relevância da natureza do conhecimento a ser ensinado (GIL PEREZ *et. al.*, 2001), ou melhor, importantes fatores destacados pelas pesquisas e que influem diretamente na aprendizagem em sala de aula. Isso é uma das causas de um ensino de-sestimulante e desinteressante manifestado pela referida crise.

Vale destacar que esse problema não é uma preocupação recente, a partir da Guerra Fria diversas propostas de ensino foram desenvolvidas para tornar o ensino de ciências mais eficiente e atrativo, trata-se dos projetos de ensino de física (PENA, 2012; PINHO, 2000), tais como o *Physical Science Study Committee* (PSSC) e o Projeto *Harvard* nos EUA e o Projeto de Ensino de Física (PEF) e o Projeto Brasileiro de Ensino de Física (PBEF) no Brasil. A partir da avaliação dessas propostas inicia-se a pesquisa em ensino de ciências, gerando várias iniciativas para a melhoria da qualidade do seu ensino.

No contexto atual brasileiro, destacamos as Sequências de Ensino Investigativas ou SEI's (CARVALHO, 2011, 2013), que além de sistematizarem importantes resultados das pesquisas em ensino de física e ciências, trazem algumas referências essenciais para preparação de aulas que sejam mais interessantes e motivadoras para os estudantes e também para os professores.

Dessa forma, buscando contribuir para a mudança dessa situação no mínimo preocupante, apresentamos neste trabalho uma proposta de uma SEI para o ensino de quantidade de movimento<sup>1</sup>, sua conservação e as leis de Newton, que estimule os estudantes do ensino médio a argumentarem sobre estes temas, já que consideramos essa prática essencial para o processo de aprendizagem.

A seleção de uma metodologia investigativa como pano de fundo da sequência de ensino é pautada em pesquisas que demonstram que esse tipo de pro-

---

<sup>1</sup> Muitos livros de terceiro grau usam a denominação “momento linear”, porém, mantivemos a denominação “quantidade de movimento”, pois é a expressão mais usada nos livros didáticos para o ensino médio.

posta é profícuo no desencadeamento de situações argumentativas (ERDURAN, 2007; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE *et. al.*, 2000; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; BUSTAMANTE, 2003; MACDONALD; KELLY, 2012; SAMPSON; CLARK, 2006; SAMPSON *et. al.*, 2012; SANDOVAL; MILLWOOD, 2007; SASSERON; CARVALHO, 2011e 2011b; SASSERON, 2008). Isso é de extrema relevância, pois a argumentação é um dos elementos essenciais do processo de ensino-aprendizagem (DRIVER *et. al.*, 2000), logo, ela será discutida em um tópico a seguir.

Optamos pelo tema quantidade de movimento devido à sua fundamental importância tanto (1) na história da física quanto (2) no seu desenvolvimento contemporâneo. No primeiro caso, Carvalho (1989) enfatiza que:

*A conservação da quantidade de movimento foi o germe da Física clássica e desempenhou um papel básico na formulação das leis de Newton. Com ela se estabeleceu uma rede de relações lógicas entre massa, velocidade, tempo, força impulso e aceleração* (p. 9, grifo nosso).

No segundo caso, no domínio da física quântica, sobre o conceito de momento (ou quantidade de movimento), Feynman *et. al.* (2008) destacam que:

*[...] na mecânica quântica ocorre que momento é uma coisa diferente, não é mais  $mv$ . É difícil definir exatamente o que significa a velocidade de uma partícula, mas momento ainda existe. Em mecânica quântica a diferença é que quando as partículas são representadas como partículas, o momento ainda é  $mv$ , mas quando as partículas são representadas como ondas, o momento é medido pelo número de ondas por centímetro: quanto maior esse número de ondas, maior o momento. A despeito das diferenças, a lei de conservação de momento vale também na mecânica quântica. Embora a lei  $f = ma$  seja falsa e todas as derivações de Newton estivessem erradas para a conservação do momento, na mecânica quântica, contudo, no fim, essa lei particular se mantém!* (p. 10-9, grifos nossos).

Destacamos ainda que esses conteúdos, apesar de seu grande valor histórico e atual, quase nunca são abordados nas salas de aula.

Antes de discutirmos as diferentes atividades da SEI, debatemos brevemente os fundamentos dessa proposta de ensino-aprendizagem, iniciando pelas características que consideramos importantes na argumentação científica e depois apresentando as especificidades das sequências de ensino investigativas.

## II. Argumentação e aprendizagem

Nas últimas décadas, a pesquisa em ensino de ciências destacou a importância da argumentação na aprendizagem (CAPECCHI, 2004a, 2004b; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 2005; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; BUSTAMANTE, 2003; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE *et. al.*, 2000; MORTIMER; SCOTT, 2002; NASCIMENTO; VIEIRA, 2009; SASSERON; CARVALHO, 2011a; SOUZA; SASSERON, 2012a, 2012b). Esse processo é desencadeado por uma problematização e propicia o surgimento ideias que são justificadas até chegar a uma explicação e com isso é potencializada a aprendizagem.

Dessa forma, é preciso definir o que é um bom argumento no contexto científico, de forma a tê-lo como referência e meta no planejamento de atividades de ensino mais efetivas.

Para Toulmin (2006), um bom argumento possui características gerais, ou independentes da área de conhecimento, e campo-dependentes, que são exclusivas de uma área específica do saber. Nosso interesse concentra-se na segunda classificação, já que nos preocupamos com a aprendizagem de conteúdos de física no ensino médio. Sendo assim, destacamos as características da argumentação relativas à física, as quais devem ser incitadas na sequência didática que planejamos.

A partir de uma revisão de literatura (ABERDEIN, 2005; SANDOVAL; MILWOOD, 2007; SAMPSON; CLARK, 2006; ERDURAN, 2007; SAMPSON; CLARK, 2006; MACDONALD; KELLY, 2012; VIEIRA; NASCIMENTO, 2008, 2009; NASCIMENTO; VIEIRA, 2009; SASSERON, 2008; SASSERON; CARVALHO, 2011b; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE *et. al.*, 2000; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; BUSTAMANTE, 2003; SAMPSON *et. al.*, 2012), detectamos os seguintes aspectos campo-dependentes do processo argumentativo em ensino de ciências que nortearam o desenvolvimento das atividades de ensino da SEI:

Tabela 1: características campo-dependentes da argumentação científica.

<b>Características Campo-Dependentes</b>	<b>Descrição</b>
Seriação	Lista de dados trabalhados ou para trabalhar. Estabelece as bases para a investigação.
Classificação e organização de informações	Trata-se da busca por similaridades em um arranjo de informações, podendo criar-se hierarquias entre elas.

Levantamento e teste de hipóteses	Suposições sobre um tema em estudo, que são colocadas à prova.
Justificativa	Cria a base para sustentar uma alegação que leva a uma conclusão, pode ser: uso de definição, apelo à analogia ou comparações, exemplos, atributos, consistência com outros conhecimentos – incluindo a experiência e a metafísica – e plausibilidade.
Explicação	Relaciona informações e hipóteses, geralmente após a justificativa.
Previsão	Antecipar ações e/ou fenômenos relacionando acontecimentos.
Abdução	Uso de uma hipótese/regra como justificativa para explicar um conhecimento novo, de forma a criar dados para amparar uma conclusão.
Dedução	Raciocínio do geral para o particular.
Indução	Conclusão apoiada em uma inferência, das partes para o todo.
Raciocínio lógico e proporcional	A forma como o pensamento é estruturado e como se relacionam as variáveis no mesmo.

Dentre os elementos apresentados na tabela 1, ressaltamos que a abdução, a indução e a dedução são importantes formas de raciocínio presentes no processo argumentativo que é o fazer científico. Pierce (2012) ao longo de sua obra enfatiza que:

*Na ciência, há três espécies fundamentalmente diferentes de raciocínio: Dedução [...], Indução [...] e Retrodução<sup>2</sup> [...] (p. 5).*

*O argumento é de três tipos: Dedução, Indução e Abdução (geralmente denominado de adoção de uma hipótese) (p. 30).*

*Abdução é o processo de formação de uma hipótese explanatória. É a única operação lógica que apresenta uma ideia nova, pois a indução nada faz além de determinar um valor, e a dedução meramente desenvolve as consequências necessárias de uma hipótese pura.*

<sup>2</sup> Pierce no início de sua obra usa a palavra *retrodução* no lugar de abdução.

*A Dedução prova que algo deve ser; a Indução mostra que alguma coisa é realmente operativa; a Abdução simplesmente sugere que alguma coisa pode ser (Pierce, 2012, p. 220).*

Miskulin (1999) traz um exemplo desses raciocínios:

*Dedução:*

*Regra: Todos os feijões deste saco são brancos.*

*Caso: Estes feijões são deste saco.*

*Resultado: Estes feijões são brancos.*

*Indução:*

*Caso: Estes feijões são deste saco.*

*Resultado: Estes feijões são brancos.*

*Regra: Todos os feijões deste saco são brancos.*

*Abdução:*

*Regra: Todos os feijões deste saco são brancos.*

*Resultado: Estes feijões são brancos.*

*Caso: Estes feijões são deste saco (MISKULIN, op. cit., p. 347).*

A *dedução* envolve um movimento do geral para o particular, equivalente ao silogismo, ou seja, um raciocínio com as seguintes proposições: premissa maior (todos os feijões deste saco são brancos), premissa menor (estes feijões são deste saco) e conclusão (estes feijões são brancos). Por outro lado, *indução* envolve uma conclusão apoiada em uma inferência, das partes para o todo. Por fim, a *abdução* envolve a emissão de uma *hipótese* na elaboração de uma inferência, *trazendo uma ideia nova* (diferente da indução e da dedução) que deve ser testada por deduções e induções (MISKULIN, op. cit.).

Ressaltamos que ao nos referirmos a conceitos como indução e dedução, o leitor possa indagar se o presente trabalho é fundamentado em uma postura empírico-indutivista e/ou empirista ingênua (GIL-PÉREZ et. al., 2001), o que, pelos motivos que se seguem, não se sustenta.

É essencial destacar que nas diferentes atividades descritas a seguir, os alunos não partem de uma série de observações neutras para uma inferência, ou seja, eles devem ter uma bagagem teórica já construída envolvendo conceitos como espaço, tempo, velocidade e aceleração, que nortearão suas interpretações e inferências (não se trata de uma ‘observação neutra’). Dessa forma, assim como Isaac Newton (2008) tinha os trabalhos de seus antecessores, como os resultados de Galileu para a queda livre, incorporados a seu arcabouço teórico, nortearão suas

questões de pesquisa e observações das colisões de pêndulos para generalização do conceito de quantidade de movimento, os estudantes precisam ter internalizado resultados importantes de pesquisa, como a queda livre, para interpretar os fenômenos propostos nas atividades da SEI. Além disso, Moreira e Massoni (2011), ao comentarem a crítica de Popper ao processo de indução, destacam que apesar de uma série exaustiva de observações sempre poder ser falseada, os raciocínios indutivos e dedutivos são comuns nas práticas dos cientistas:

*[...] na prática, os cientistas usam, de fato, a indução para ir de um conjunto limitado de dados a uma conclusão mais geral [...]. Mas, provavelmente, não o fazem pensando que sua teoria é única, ou universal. Quer dizer, eles provavelmente têm plena consciência de que sua teoria é uma conjetura infértil, cujas deduções podem ser testadas e refutadas experimentalmente. [...] É um erro pensar que, na ciência, a indução não leva a teorias, ou conclusões mais gerais (p. 21).*

Sendo assim, a indução e a dedução são formas de raciocínio comumente utilizadas pelos cientistas e que devem aparecer no processo de construção de conhecimento em sala de aula, junto com as outras características destacadas previamente nesse tópico.

Estabelecidos os aspectos importantes da argumentação científica a serem estimulados nas atividades didáticas planejadas, discutimos a seguir os fundamentos das sequências de ensino investigativas.

### **III. As Sequências de Ensino Investigativas e sua relação com a argumentação científica**

As Sequências de Ensino Investigativas (SEI's) surgiram no Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física (LaPEF) da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, a partir da sistematização de diversas pesquisas realizadas por seus mestrados e doutorandos e de ampla revisão bibliográfica nos principais periódicos de ensino de ciências. Carvalho (2011) apresenta alguns pontos relevantes para a construção de conhecimentos pelo indivíduo que devem ser considerados no planejamento das SEI's:

- 1- A relevância de um problema para um início da construção do conhecimento.
- 2- A passagem da ação manipulativa para a ação intelectual.
- 3- A importância da tomada de consciência dos próprios atos para a construção do conhecimento.

#### 4- As diferentes etapas das explicações científicas.

Além disso, a autora destaca que para que haja interações sociais – outro fator fundamental para o processo de construção do conhecimento – entre os participantes das SEI's, é necessário considerar os seguintes pontos:

- o estímulo à participação ativa do estudante;
- a importância da relação aluno-aluno;
- o papel do professor como elaborador de questões;
- a criação de um ambiente encorajador;
- o ensino a partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula;
- o conteúdo (o problema) deve fazer sentido para o aluno;
- a relação entre ciência, tecnologia e sociedade;
- a passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica.

É importante destacar ainda, que os problemas nas SEI's devem estar contidos na cultura dos estudantes e serem interessantes a ponto de gerar a busca de uma solução, e ainda, eles podem ser experimentais (laboratório aberto e demonstração investigativa) e não experimentais (questões abertas que podem ser introduzidas por textos, imagens, reportagens etc.). Em ambos os casos, devem proporcionar o teste de hipóteses, a passagem da manipulação/imaginação para a ação intelectual, a estruturação do pensamento e a apresentação das argumentações socialmente. Ao passar por essas fases os alunos devem variar suas ações, oportunizando a estruturação de regularidades no fenômeno estudado (CARVALHO, 2011 e 2013).

Segundo Carvalho (2013) as seguintes etapas do raciocínio científico estão presentes nas diferentes atividades das SEI's:

- Elaboração e testes de hipóteses, onde o conhecimento prévio é tomado como hipótese de pesquisa na resolução do problema.
- Argumentação.
- Solução do problema, produzindo uma explicação.
- Construção do raciocínio proporcional do tipo “se, então, portanto”, o que envolve a seleção e a relação de variáveis relevantes à solução do problema e à necessidade de uma nova palavra/conceito.

É importante frisar que as características campo-dependentes da argumentação destacadas no tópico anterior (levantamento e teste de hipóteses e abdução; seriação, classificação e organização de informações; explicação; justificativa, previsão, dedução; indução, raciocínio lógico e proporcional) deverão perpassar em maior ou menor grau por todas essas etapas, sem a necessidade de intervenções

extras do professor além das sugeridas no próximo tópico. Por exemplo, ao usar o conhecimento prévio como hipótese de pesquisa, um estudante pode recorrer a um raciocínio *abduativo* que tente *explicar e justificar* a resposta ao problema proposto, ou ainda, ao manipular um aparato experimental, no processo de reconhecimento das variáveis envolvidas no fenômeno, o aluno procure *seriar, classificar e organizar as informações* observadas com base em seu arcabouço teórico. Para que isso ocorra, é essencial que o professor siga os seguintes passos de *gerenciamento da classe* (Carvalho, op. cit.):

- Distribuição do material e proposição do problema pelo professor.
- Resolução do problema pelos alunos em pequenos grupos, a partir de suas concepções.
- Sistematização coletiva dos conhecimentos elaborados nos grupos, dividida em duas etapas: (1) como ou levantamento dos dados para resolução do problema e (2) porque ou construção de uma justificativa para o fenômeno e da argumentação científica, proporcionando uma explicação causal e a passagem da linguagem cotidiana para a científica.
- Escrever e desenhar, realçando a construção pessoal do conhecimento.

Após a resolução do problema e a construção da explicação deve-se introduzir (1) uma atividade de sistematização, garantindo que todos aprendam o conteúdo, por meio da leitura de um texto (por exemplo, de história da ciência), no qual se pode discutir e retomar as etapas desenvolvidas e o modelo explicativo construído à luz dos novos conceitos. E também, (2) uma atividade de contextualização e aprofundamento do conteúdo, onde se vê a aplicação do conteúdo em um contexto social. Em ambos os casos, deve-se introduzir questões que estimulem a reflexão sobre a leitura.

#### **IV. A sequência de ensino-aprendizagem**

Apresentamos a seguir as atividades propostas para uma sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. Em cada uma delas, consideramos em sua aplicação os pontos destacados anteriormente, tanto em relação *às etapas do raciocínio científico* quanto do *gerenciamento da sala*, como forma de desencadear o processo de argumentação com as características apresentadas.

O número de aulas necessárias para a aplicação dependerá das condições particulares de ensino, ou seja, número de alunos por sala, quantidade de aulas disponíveis, e ainda, da escolha do professor em aprofundar certos temas ao siste-

matizar os conhecimentos em determinada atividade – por exemplo, trazendo uma aula extra de exercícios, fazendo cálculos sobre as colisões bidimensionais ou ainda realizando medições nos experimentos propostos.

Geralmente, o trabalho em pequenos grupos requer um tempo considerável, dentro do tempo útil disponível nas aulas, isto é, excluindo a mudança de sala, a realização de chamada e a sensibilização dos estudantes. Dessa forma, a sistematização das discussões em grande grupo geralmente vem em uma aula posterior.

É importante ressaltar que nos momentos de construção das explicações coletivas de cada aula, o docente deve ficar atento aos problemas que Sandoval e Millwood (2007) sistematizaram nos diferentes trabalhos sobre a argumentação discente, ou seja, as alegações orais ou escritas só serão justificadas quando contestadas.

Dessa forma, destacamos que as intervenções do docente necessitam ser na direção de que os estudantes justifiquem suas alegações, destacando os pontos de desacordo que estão ligados à referida contestação. Além disso, o professor deve ser preciso em suas instruções, solicitando que os alunos justifiquem seus argumentos escritos.

A distribuição de conteúdos da SEI é baseada no livro1 do Principia (Newton, 2008), ou seja, o autor em sua *definição II*<sup>3</sup> apresenta primeiro o conceito de quantidade de movimento, e ao discuti-lo, introduz implicitamente a noção de conservação:

*O movimento do todo é a soma dos movimentos de todas as partes; portanto, em um corpo com o dobro da quantidade, com igual velocidade, o movimento é duplo; com o dobro da velocidade, é quádruplo* (NEWTON, 2008, p. 40).

Destacamos que Newton chamava de “movimento” o que hoje é conhecido como quantidade de movimento ou momento linear. Em seguida, nas *definições III*<sup>4</sup> e *IV*<sup>5</sup> ele destaca implicitamente o que é conhecido atualmente como as três leis

---

<sup>3</sup> “A quantidade de movimento é a medida do mesmo, obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria” (p. 40).

<sup>4</sup> “A vis insita, ou força inata da matéria, é um poder de resistir, através do qual todo o corpo, no que depende dele, mantém seu estado presente, seja ele de repouso ou de movimento uniforme em linha reta” (p. 40).

<sup>5</sup> “Uma força imprimida é uma ação exercida sobre um corpo a fim de alterar seu estado, seja repouso, seja de movimento uniforme em linha reta” (p. 41).

de Newton, e depois, no tópico “*Axiomas ou leis de movimento*” ele discute as três leis de movimento<sup>6</sup> em termos da variação dos momentos:

*Os corpos maiores dos planetas e cometas, encontrando menos resistência em espaços livres, preservam seus movimentos, tanto progressivo como circular, por um tempo muito maior* (p. 53, grifos nossos).

*Se uma força gera um movimento, uma força dupla vai gerar um movimento duplo [...]* (p. 54, grifos nossos).

*Se um corpo se choca com outro, e pela sua força muda o movimento desse, aquele corpo também [...] sofrerá uma mudança igual no seu próprio movimento, em direção à parte contrária* (p. 54, grifos nossos).

Essa abordagem nos parece mais lógica para compreender os movimentos e suas causas, já que os explica por meio das interações entre corpos através de uma força que provoca uma variação de suas quantidades de movimento. Além disso, a abordagem de Newton faz uma grande sistematização dos trabalhos dos seus antecessores.

Essa sequência de conteúdos também é adotada por outras propostas de ensino-aprendizagem, tal como no trabalho do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF, 2002) e na proposta curricular de São Paulo (BONETTI *et. al.*, 2010). Em outras propostas, apesar de seguirem a ‘ordem tradicional’ de conteúdos, ao discutirem quantidade de movimento e sua conservação, elas apresentam as leis de Newton em termos da conservação da quantidade de movimento, tal como o Projeto Harvard (1978) e o PSSC (1968).

Começamos com uma problematização que visa à construção da noção de quantidade de movimento e sua conservação e, em seguida, introduzimos atividades que estimulam a reflexão sobre as três leis de Newton à luz do princípio de conservação da quantidade de movimento. Abaixo detalhamos cada atividade da SEI em termos dos conteúdos e suas potencialidades para produzir situações argumentativas.

---

<sup>6</sup> Lei I: “Todo corpo continua em seu estado de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele” (p. 53).

Lei II: “A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida” (p. 54).

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

### Atividade 1 – Transferindo movimento: o problema do pêndulo de Newton

Esta atividade tem por objetivo construir uma noção sobre momento linear e sua conservação, por meio de um problema experimental envolvendo a colisão de pêndulos com massas diferentes (tal como Newton fez em seus estudos). Com isso, ela oportuniza a passagem da ação manipulativa para a ação intelectual, na qual os conhecimentos prévios são tomados como hipóteses a serem testadas durante o manuseio do experimento. Nesse processo, os estudantes podem usar seus conhecimentos sobre cinemática como base para as observações das colisões e como suporte para suas alegações e explicações.

No início da aula o professor introduz o tema, comentando brevemente sobre importância dos movimentos e sobre conhecer suas causas. Devem-se fornecer pêndulos similares ao da figura 1 abaixo, ou seja, com massas diferentes, tal como Newton usou em suas experiências, em que grupos de aproximadamente cinco estudantes possam fazer colisões, tentando responder ao problema<sup>7</sup> a seguir:

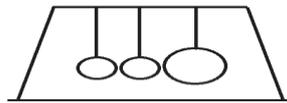


Fig. 1 – O pêndulo de Newton.

*Fazendo um pêndulo colidir<sup>8</sup> com outro, como é possível elevar as bolinhas sempre à mesma altura?*

O objetivo do desafio é criar condições para discutir a transferência de quantidade de movimento entre os pêndulos, emergindo a necessidade do uso da noção de conservação relacionando os conceitos de massa e velocidade.

Caso algum grupo apresente dificuldades no processo de solução, o docente pode sugerir questões equivalentes às do GREF (2002, p. 61 a 64) elaboradas para um experimento com carrinhos de brinquedo, isto é, pode fazer indagações como *o que ocorre*:

*- ao colidir duas esferas de massas diferentes, sendo que a de maior massa esta parada?*

---

<sup>7</sup> Geralmente faz-se a questão antes de distribuir o material para evitar que os estudantes se dispersem.

<sup>8</sup> É importante que o docente explique o que é colisão para seus alunos, visto que este não é um termo presente em seu vocabulário cotidiano.

- na situação oposta a anterior, ou melhor, com a de menor massa parada?

- ao colidir duas esferas de massas iguais, estando uma parada?

Os alunos deverão levantar hipóteses e testá-las ao manipular o experimento, situação em que se inicia o processo de argumentação. Resolvido o problema, na aula seguinte<sup>9</sup>, a sala será organizada em forma de círculo e devem-se discutir as respostas obtidas.

O professor deve ficar atento às etapas do raciocínio científico. Dessa forma, primeiramente a discussão necessita focar no ‘como’ chegou-se a solução, ou seja, é preciso lançar a bola de maior massa de uma altura pequena para que a bolinha de menor massa suba até uma determinada altura e vice-versa. Neste momento, algumas características campo-dependentes da argumentação que devem ter iniciado durante as ações manipulativas poderão reaparecer, tal como *seriação, classificação e organização dos dados qualitativos obtidos no experimento e o raciocínio lógico e proporcional*.

Em seguida, inicia-se o ‘porque’ tal fenômeno ocorreu da forma relatada, chegando-se à dependência da massa e da velocidade na colisão (por exemplo, a bola de maior massa, quando elevada a uma pequena altura, ao colidir com a de menor massa, faz essa última subir mais do que a altura inicial da primeira). Isso favorece o surgimento de características argumentativas como *explicação, justificativa, raciocínio lógico e proporcional* e possivelmente a *abduções*, já que há necessidade de recorrer uma regra ou conceito que apoie os dados na elaboração de uma conclusão.

A fim de chegar a uma explicação científica para o fenômeno, introduz-se a atividade 2 em uma aula posterior, que pode ser usada para retomar o problema do pêndulo à luz do conceito de conservação da quantidade de movimento e ainda para matematizá-lo.

---

<sup>9</sup> O tempo das atividades dependerá de vários fatores, como o número de alunos e sua habilidade de investigação. Pela nossa experiência, os alunos costumam manipular os materiais e discutir os problemas em pequenos grupos em uma aula, logo, deve-se deixar o debate com o grande grupo e a sistematização das respostas para a aula seguinte.

## Atividade 2 – O que é quantidade de movimento afinal? O problema das colisões

O objetivo desta atividade é sistematizar o conceito de quantidade de movimento e sua conservação (BELLUCCO, 2012) e conduzir à relação entre ciência, tecnologia e sociedade na SEI, a partir dos conteúdos discutidos no problema experimental.

Iniciamos o primeiro momento com o título e um desenho (Fig. 2) da situação, seguidos de três questões semiabertas escritas na lousa ou entregues por escrito:

### Momento Linear ou Quantidade de Movimento

Observe a figura e responda:

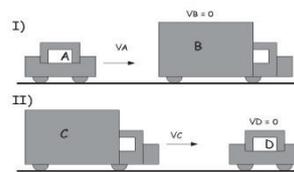


Fig. 2 – Refletindo sobre a quantidade de movimento e a sua conservação.

a) O que acontecerá com as velocidades de todos os carros depois da colisão, nas situações I e II?

b) O que influencia as velocidades dos carros após as colisões?

c) Podemos dizer que o “movimento” de um carro passa para o outro?

Justifiquem todas as suas respostas.

Durante a discussão em pequenos grupos<sup>10</sup> e nas etapas do raciocínio científico, esperamos o aparecimento de parte das características campo-dependentes da argumentação científica que destacamos, tais como *levantamento e teste de hipóteses e abdução, seriação, classificação e organização de informações e o raciocínio lógico e proporcional*.

<sup>10</sup> Muitas vezes a discussão pode ocorrer na aula seguinte, já que os alunos podem levar um tempo grande para discutir as respostas.

Deve-se organizar em seguida o grande grupo para que os estudantes relatem ‘como’ chegaram às respostas (item ‘a’, acima), ou seja: o carro A pode se juntar com o B e ambos saírem com uma velocidade mais baixa do que  $V_A$ , e o carro C tem sua velocidade diminuída enquanto o carro D sai com uma velocidade maior do que  $V_C$ . Podem surgir outras hipóteses sobre o freio de mão dos carros, a destruição ou explosão dos mesmos, o tipo de chão envolvido, a diminuição da velocidade com a distância, o choque inelástico onde os carros movimentam-se juntos, etc. (BELLUCCO, 2012).

Na explicação do ‘porque’, sugerimos que o debate dessas questões seja relacionado às observações da atividade 1 (itens ‘b’ e ‘c’, acima), além disso, é hora de indagar sobre quais condições de contorno devem ser consideradas no problema (choque inelástico, com atrito ou não, explode ou não etc.), tal como as hipóteses apresentadas no parágrafo anterior, chegando-se novamente à conclusão de que as colisões dependem tanto da massa quanto da velocidade dos objetos que se chocam. Por fim, introduzem-se e matematizam-se os conceitos de quantidade de movimento e sua conservação, sempre fazendo referências aos fenômenos vistos em sala e ainda discutindo o caráter vetorial desse conteúdo. Sendo que o caso bidimensional pode ser relacionado às colisões não frontais que ocorreram durante o experimento dos pêndulos.

Além disso, durante a matematização dos fenômenos, é importante estar atento às ideias intuitivas usadas pelos estudantes, que costumam misturar os conceitos de força, movimento e impulso (CARVALHO, 1989). Logo, o professor precisa ser bastante cauteloso quanto à distinção desses conceitos, e ‘traduzi-los’ nos fenômenos observados durante a sistematização dos conteúdos. Deve-se ainda matematizar a situação da imagem estimando valores para as massas dos carros e suas velocidades iniciais, determinando ainda o tipo de colisão (entre perfeitamente elástica até inelástica).

Na aula seguinte, um texto à escolha do professor (por exemplo, um texto do livro didático disponível na escola) pode ser usado para sistematizar os conhecimentos construídos, sempre usando questões que direcionem a leitura aos aspectos relevantes do tema. Sugerimos o texto da proposta curricular de São Paulo (BONETTI *et. al.*, 2010), reproduzido no anexo I, no qual incluímos um desafio que visa à reflexão sobre as causas dos movimentos por meio do conceito de conservação da quantidade de movimento.

Vale destacar que esse assunto não se esgota aqui, sendo desejável resgatá-lo adiante, junto com o tema “Energia”, no qual se pode usar uma abordagem histórica sobre a “querela das forças vivas” (CARVALHO, *op. cit.*).

### Atividade 3 – Problemas abertos

Propomos a seguir problemas abertos nos quais o professor pode avaliar o nível de compreensão do tema alcançado, além de possibilitar a recuperação dos alunos que não acompanharam o processo de ensino-aprendizagem:

1 – *Qual a máxima quantidade de movimento que você consegue transferir a uma bola durante um pênalti?*

2 – *Consequentemente, qual é a velocidade adquirida pela bola logo após o chute?*

3 – *Toda quantidade de movimento do pé é transferida à bola? Explique.*

4 – *Discuta como a matemática auxilia no entendimento e na resolução das situações descritas nos problemas anteriores.*

É importante que a discussão sobre os problemas seja feita em pequenos grupos, por outro lado, a resposta deve ser entregue individualmente, a fim de assegurar a construção pessoal do conhecimento.

Após a entrega, em uma aula seguinte, o docente pode discutir coletivamente as resoluções. A delimitação das variáveis relevantes e a atribuição dos valores aproximados são essenciais para resolução dos problemas abertos, sendo que os valores de massa e velocidade deverão ser individuais para cada aluno. Além disso, a compreensão da conservação da quantidade de movimento é fundamental para chegar a uma resposta adequada nos três primeiros problemas. O quarto problema tem por objetivo que o estudante reflita sobre a matemática e seu papel no entendimento dos fenômenos e situações físicas.

Para essa tarefa esperamos também que os aspectos campo-dependentes da argumentação sejam marcantes, principalmente o processo de *dedução*, no qual os alunos precisarão estimar os dados e, a partir da lei geral da conservação da quantidade de movimento, eles deverão obter resultados específicos/particulares ao responderem às questões.

Outra sugestão para avaliação seria usar o próprio experimento da atividade 1, fazendo medições por meio de uma filmagem com o auxílio da câmera de um celular e o tratamento dos dados obtidos com a ajuda do software tracker<sup>11</sup> (ou outro que faça a mesma função).

---

<sup>11</sup> <<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>>.

#### **Atividade 4 – Conservando os movimentos: as leis de Newton**

Compreendido o que é a conservação da quantidade de movimento, partimos para o estudo das suas consequências, ou seja, as leis de Newton.

##### **Atividade 4.1 – Perdidos no Espaço - A primeira lei de Newton**

A primeira lei de Newton exige grande abstração do educando e demanda grande esforço para sua compreensão. É comum ter a noção de que para existir movimento, é imperativo o uso de uma força. Por outro lado, fazer perceber que um objeto pode estar em movimento sem haver uma força resultante o impulsionando é um grande desafio ao professor de física.

Nesta aula, procuramos trazer um tema que apesar de não estar na realidade sensível do aluno, está no seu cotidiano e na sua cultura, seja em filmes, seja na mídia: viagens espaciais. Além disso, ele remete aos exemplos da primeira lei que Newton (2008) discutiu – que foram previamente abordados no começo deste tópico – sobre o movimento dos planetas. Dessa forma, procuramos estabelecer a relação entre ciência, tecnologia e sociedade, buscando a participação ativa dos estudantes, por meio de um problema que é significativo para os mesmos e que os estimulem a usar seus conhecimentos prévios sobre o assunto.

Introduzimos a aula com a seguinte questão a ser discutida inicialmente em pequenos grupos:

*Para que uma nave no planeta Terra ande 384000 quilômetros (distância da Terra até a Lua) é necessária uma quantidade enorme de combustível (maior que o volume de nossa escola). Sendo assim, como é possível que uma nave espacial viaje distâncias maiores com quantidade de combustível menor do que essa? O que é preciso para que a nave mude sua direção e sentido no espaço?*

Na primeira parte desse problema, os estudantes terão que perceber as diferenças entre uma viagem na atmosfera, onde há muito atrito com o ar e uma viagem no espaço sideral em que o atrito é desprezível. Já a segunda questão tem como objetivo promover uma discussão entre os alunos sobre as viagens espaciais em termos da variação da quantidade de movimento.

Esperamos ainda que haja durante as argumentações *levantamento e teste de hipóteses e abdução; seriação, classificação e organização de informações; início da explicação; justificativa, previsão e raciocínio lógico e proporcional.*

Durante a discussão no grande grupo, respeitando as etapas do ‘como’ e ‘porque’, é preciso destacar que uma mudança espontânea na quantidade de movi-

mento de um objeto, sem a interação com outro corpo, violaria o princípio da conservação da quantidade de movimento.

Por fim, o professor pode definir a primeira lei de Newton discutindo o fenômeno apresentado no problema. É interessante que o texto original seja lido e discutido em sala e que o docente requisite novos exemplos por parte dos alunos, criando condições para o estudo das outras leis de movimento:

### **Lei I**

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

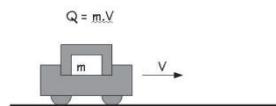
*Projéteis continuam em seus movimentos, desde que não sejam retardados pela resistência do ar, ou impelidos para baixo pela força da gravidade. Um pião, cujas partes por sua coesão são continuamente afastadas de movimentos retilíneos, não cessa sua rotação a não ser quando retardado pelo ar. Os corpos maiores dos planetas e cometas, encontrando menos resistência em espaços livres, preservam seus movimentos, tanto progressivo como circular, por um tempo muito maior (NEWTON, 2008, p. 54).*

### **Atividade 4.2 – O que provoca um movimento? Variando a quantidade de movimento e a segunda lei de Newton**

Em um momento posterior, procuramos (re)construir o conceito de força com a seguinte atividade:

#### **Variação da Quantidade de Movimento**

*Observe a situação a seguir e responda:*



*Fig. 3 – Refletindo sobre a variação da quantidade de movimento.*

*a) O que pode causar a mudança da quantidade de movimento?*

b) *Qual o símbolo que usamos para representar variação? Como poderíamos fazer para calcular essa variação da quantidade de movimento? Dica: lembrem como fizemos para variação do espaço, tempo e velocidade.*

*Justifiquem todas as suas respostas.*

Para a questão ‘a’ é necessário que os estudantes discutam sobre a necessidade de uma força para provocar uma variação na velocidade do carro, e consequentemente, na quantidade de movimento (a figura 3 é colocada para que os alunos recordem e reflitam sobre as variáveis que influem no fenômeno). Já a questão ‘b’, visa estimular uma reflexão sobre a forma matemática de se representar a variação da quantidade de movimento do carro e de outros objetivos, possibilitando a passagem da linguagem oral/escrita para a linguagem formal. Além de favorecer o levantamento e o teste de hipóteses e a abdução; a seriação, a classificação e a organização de informações; a explicação; o raciocínio lógico e o proporcional; essa atividade tem por objetivo usar uma justificativa que se valha de um apelo à analogia ou comparações com outros conhecimentos sobre outras variações estudadas (realizando um raciocínio *abduativo*), ao buscar o uso do símbolo  $\Delta$  (delta) para representar variações.

Após as discussões em pequenos grupos, na aula seguinte, o docente deve buscar com toda a sala a percepção das condições que fazem alterar a quantidade de movimento do carro, e em seguida, o ‘porque’ – situação em que se pode mostrar como a equação ( $Q = m.V$ ) se relaciona ao fenômeno e vice-versa. O mesmo pode ser feito ao introduzir as equações usando as expressões para força, impulso ( $I=F.\Delta t$ ) e variação da quantidade de movimento, sempre se referindo à situação apresentada, criando condições para a introdução da segunda lei de Newton ( $F=\Delta Q/\Delta t$ ) e para a diferenciação desses conceitos. Deve-se ainda retomar a discussão sobre impulso, movimento e força iniciada no final da atividade 2, sem esquecer de destacar o caráter vetorial dessas grandezas.

É importante que o professor destaque que essas equações são uma forma moderna de representar os fenômenos e que foram os cientistas contemporâneos a Newton, tal como Euler, que as escreveram baseando-se em seu trabalho (CARVALHO, 1989). Para auxiliar o debate, deve-se apresentar a formulação original newtoniana solicitando novos exemplos:

### ***Lei II***

*A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.*

*Se qualquer força gera um movimento, uma força dupla vai gerar um movimento duplo, uma força tripla, um movimento triplo, seja aquela força imprimida uma única vez, ou gradual e sucessivamente. Esse movimento (sendo sempre orientado na mesma direção da força geradora), caso o corpo se mova antes, é adicionado ou subtraído do primeiro movimento, dependendo se eles cooperam na mesma direção ou se não são diretamente contrários, um ao outro, ou obliquamente combinados, quando oblíquos, de modo a produzir um novo movimento composto a partir da determinação de ambos (NEWTON, 2008, p. 55).*

#### **Atividade 4.3 – Interagindo e reagindo: a terceira lei de Newton**

Nesta aula, o professor deve montar o experimento a seguir (Fig. 4) com uma prancha de madeira (dimensões de 15 cm x 10 cm), três preguinhos ou parafusos, elástico, vela ou isqueiro, canudos ou lápis cilíndricos e uma bola de gude:

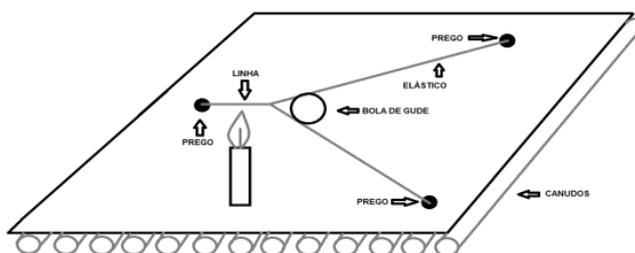


Fig. 4 – Demonstração investigativa da Ação e Reação.

Deve-se realizar a demonstração investigativa com a sala disposta em círculo e, antes de queimar a linha, o professor irá propor o seguinte problema experimental: “o que irá acontecer quando o fio arrebentar?”. Depois que as ideias/concepções dos estudantes forem expressas e organizadas na lousa, pode-se realizar o experimento<sup>12</sup>.

A partir da visualização do fenômeno, inicia-se a etapa da construção da explicação em um grande grupo, na qual o docente deve requisitar esclarecimentos sobre o ocorrido, sem avaliar, procurando com questionamentos intermediários

<sup>12</sup> É importante que o experimento não esteja em uma superfície muito lisa, para que os lápis rolem adequadamente. Cinco ou seis lápis separados por uma distância de aproximadamente 10 cm são o ideal para realizar a demonstração.

estimular posteriormente a construção de uma explicação do ‘porque’ a prancha recua enquanto a bola avança, a partir dos diferentes pontos de vista. Neste momento, deve-se solicitar ainda que os discentes relacionem o fenômeno ao que eles sabem sobre a quantidade de movimento e sua conservação.

A partir disso, pode-se introduzir a lei da Ação e Reação, enfatizando a questão da necessidade da interação entre corpos para iniciar um movimento, ou seja, a variação da quantidade de movimento de um corpo não acontece espontaneamente, é preciso que haja uma interação com outro objeto de forma que haja a conservação da quantidade de movimento dos mesmos.

Isto propicia também a retomada do conceito de inércia – não existe uma variação espontânea da quantidade de movimento, sempre é preciso uma interação através de uma força – e o tratamento de exemplos do cotidiano como o lançamento de foguetes, andar etc., além de favorecer a descrição do experimento a partir da segunda lei de Newton. Dessa forma, quando o arranjo exerce uma força na bolinha variando sua quantidade de movimento, ela faz o mesmo no arranjo. O docente pode solicitar um texto escrito explicando o experimento para a aula seguinte, além de trazer e discutir a formulação original de Issac Newton solicitando novos exemplos:

### ***Lei III***

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

*Seja o que for que puxe ou empurre alguma coisa, é da mesma forma, puxado ou empurrado por ela. Se você empurra uma pedra com seu dedo, o dedo é também empurrado pela pedra. Se um cavalo puxa uma pedra amarrada a uma corda, o cavalo (se posso dizer assim) vai ser igualmente puxado de volta na direção da pedra, pois a corda distendida, pela mesma tendência a relaxar ou distorcer-se, puxará o cavalo, e obstruirá o progresso de um tanto quanto promove o do outro. Se um corpo se choca com o outro, e pela sua força muda o movimento desse, aquele corpo também (por causa da igualdade da pressão mútua) sofrerá uma mudança igual no seu próprio movimento, em direção à parte contrária. As mudanças feitas por essa ação são iguais não nas velocidades, mas nos movimentos dos corpos; quer dizer, se os corpos não forem obstruídos por quaisquer outros impedimentos. Pois, porque os movimentos são igualmente alterados, as mudanças de velocidades feitas em direções a partes contrárias são inversamente proporcionais*

*aos corpos. Essa lei também ocorre em atrações [...] (NEWTON, 2008, p. 55).*

Por fim, o professor pode equacionar o problema experimental por meio do problema aberto “*quais são as forças que atuam na bola e na prancha após queimar a linha? Por que a velocidade de ambos é diferente?*”, chamando a atenção para a diferença entre as massas dos objetos, ou seja, apesar da força ser de mesma intensidade, as massas dos objetos são diferentes, resultando em acelerações diferentes.

Nessa atividade espera-se o aparecimento das seguintes características da argumentação científica: *levantamento e teste de hipóteses e abdução; seriação, classificação e organização de informações; explicação; justificativa com uso de definição, apelo à analogia ou comparações; previsão, raciocínio lógico e proporcional.*

#### **Atividade 5 – Avaliando**

Para avaliar a compreensão dos alunos sobre o tema propomos os seguintes problemas abertos:

*1 – Ao ver Lois Lane ser arremessada do alto de um prédio, o Super-Homem a agarra na tentativa de salvá-la. Ela sobrevive? O que ele deveria fazer para que ela sobreviva? Justifique sua resposta por meio da escrita e da matemática.*

*2 – Qual é a velocidade de recuo da Terra quando você salta sobre ela? Discuta o valor encontrado.*

*3 – Como você avalia o uso da matemática nestes problemas em relação à atividade de avaliação anterior?*

Enfatizamos aqui a importância da etapa de discussão em pequenos grupos, porém, há também a necessidade de uma produção escrita individual a fim de realçar a construção pessoal do conhecimento, logo, cada aluno deve entregar uma folha com a sua resposta. Na aula posterior o professor deve discutir as respostas e uma possível solução para os problemas.

Nas respostas, uma das questões fundamentais é o tempo de frenagem que o Super-Homem deve imprimir na Lois Lane, ou seja, a força na equação  $F=\Delta Q/\Delta t$  será muito maior se o tempo for muito pequeno. Sendo assim, é necessário um tempo maior para que a força do herói não machuque a moça. Na segunda questão é interessante verificar matematicamente que a ação do pé é insignificante dada a

massa gigantesca da Terra, sendo ínfimo o seu recuo; porém, a reação é considerável dada a massa da pessoa. Como na avaliação anterior, o último problema tem por objetivo que o estudante reflita sobre a matemática e seu papel no entendimento dos fenômenos e situações físicas relativas às leis de Newton. Nos dois primeiros problemas os processos *dedutivos* são importantes, já que serão extraídos resultados particulares de leis gerais.

## V. Considerações finais

Propomos uma SEI que propicia o aparecimento de situações argumentativas para abordar um tema pouco explorado no ensino médio – conservação da quantidade de movimento – além de abordar um conteúdo clássico – leis de Newton – de uma forma mais abrangente.

Destacamos a necessidade de considerar as diferentes etapas da construção do conhecimento em cada atividade, tanto em nível de raciocínio científico, quanto de *gerenciamento da classe*, evitando que a proposta se torne mais uma exposição de conteúdos sem significado para os alunos e favorecendo momentos de argumentação com as características campo-dependentes apresentadas.

Vale destacar que o número de aulas necessárias para a aplicação dependerá das condições particulares de ensino, ou seja, número de alunos por sala, quantidade de aulas disponíveis; e ainda, da escolha do professor em aprofundar certos temas ao sistematizar os conhecimentos em determinada atividade – por exemplo, trazendo uma aula extra de exercícios, realizando cálculos sobre as colisões bidimensionais ou ainda realizando medições nos experimentos propostos.

Geralmente, o trabalho em pequenos grupos leva um tempo considerável, dentro do tempo útil disponível nas aulas, ou seja, excluindo a mudança de sala, realização de chamada e a sensibilização dos estudantes. Dessa forma, a sistematização das discussões em grande grupo geralmente vem em uma aula posterior. Nesses momentos é importante que o professor destaque tanto as ideias opostas quanto as sem justificativas, sem privilegiar uma delas, de forma a fomentar o processo argumentativo.

Por fim, é essencial contextualização dos conteúdos, na qual os estudantes podem exercitar os conceitos e modelos apreendidos no seu dia a dia, o que pode criar uma relação positiva frente à Física.

## Referências

- ABERDEIN, A. The uses of argument in mathematics. *Argumentation*, v. 19, n. 3, p. 287-301, 2005.
- BELLUCCO, A. Ensinando quantidade de movimento: como conciliar o tempo restrito com as atividades de ensino investigativas na sala de aula? *Ciência em tela*, v. 5, n. 1, 2012.
- BONETTI, M.; HOSOUME, Y.; PIETROCOLA, M. **Cadernos de Orientação do professor de Física - 1 ano - caderno 1**. São Paulo: Secretaria de Educação do Estado de São Paulo, v. 1, 2010. 55 p.
- BRASIL. Escassez de professores no Ensino Médio: propostas estruturais e emergenciais. **Relatório produzido pela Comissão Especial instituída para estudar medidas que visem a superar o déficit docente no Ensino Médio (CNE/CEB)**, 2007.
- CAPECCHI, M. C. V. M. **Aspectos da cultura científica em atividades de experimentação nas aulas de física**. 2004a. 264f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, FEUSP, São Paulo.
- CAPECCHI, M. C. V. M. Argumentação numa aula de Física. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004b. cap. 4, p. 59-76.
- CARVALHO, A. M. P. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.) **Ensino de ciências por investigação - Condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. cap.1.
- CARVALHO, A. M. P. Ensino e aprendizagem de Ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas (SEI). In: LONGHINI, M. D. (Org.). **O uno e o Diverso na Educação**. Uberlândia: EDUFU, 2011. cap. 18, p. 253-266.
- CARVALHO, A. M. P. **Física: uma proposta construtivista**. São Paulo: EPU LTDA, 1989. 65p.
- DRIVER, R.; NEWTON, P.; OSBORNE, J. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, v. 84, n. 3, p. 287-312, 2000.

DRIVER, R.; ASOKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E.; SCOTT, P. Construindo o conhecimento científico na sala de aula. **Química Nova na Escola**, n. 9, p. 31-40, 1999.

ERDURAN, S. Methodological Foundations in the Study of Argumentation in Science Classrooms. In: JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; ERDURAN, S. **Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research**. Dordrecht: Springer, 2007. cap. 3, p. 47-70.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de Física: edição definitiva**. Porto Alegre: Bookman, 2008. v. I.

FOUREZ, G. Crise no ensino de ciências? **Investigação em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 1-15, 2003.

GIL PÉREZ, D.; MONTORO, I. F.; ALIS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GRAF. **Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Física 1: Mecânica**. 7. ed. São Paulo: EDUSP, 2002. 332 p.

HARVARD PROJECT PHYSICS. **Unidade 3 – O Triunfo da Mecânica – Texto e Manual de Experiências e Atividades**. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian, 1978. 255p.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. A argumentação sobre questões sócio-científicas: processos de construção e justificação do conhecimento na aula. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 5, 2005, Bauru. **Atas...** São Paulo: ABRAPEC, 2006. 1CD.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; BUGALLO RODRÍGUEZ, A.; DUSCHL, R. A. "Doing the Lesson" or "Doing Science": argument in High School Genetics. **Science Education**, v. 84, p. 757-792, 2000.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; BUSTAMANTE, J. D. Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 21, n. 3, p. 359-370, 2003.

MACDONALD, S. P.; KELLY, G. J. Beyond argumentation: sense-making discourse in the science classroom. In: KLINE, M. S (Ed.). **Perspective on Scientific Argumentation**. Bahrain: Springer, 2012. cap.13, p. 265-282.

MISKULIN, R. G. S. **Concepções teórico-metodológicas sobre a introdução e a utilização de computadores no processo ensino/aprendizagem da Geometria**. 1999. 577f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de Campinas, UNICAMP, Campinas.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Epistemologias do século XX**. São Paulo: EPU, 2011. 207p.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 3, p. 283-306, 2002.

NASCIMENTO, S. S.; VIEIRA, R. D. A argumentação em sala de aula de física: limites e possibilidades de aplicação do padrão de Toulmin. In: NASCIMENTO, S. S.; PLANTIN, C. (Org.). **Argumentação e ensino de Ciências**. Curitiba: CRV, 2009. cap. 1, v. 1, p. 17-37.

NEWTON, I. **Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural - Livro I**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2008. 325p.

PENA, F. L. A. Sobre a presença do Projeto Harvard no sistema educacional brasileiro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 1-4, 2012.

PEIRCE, C. S. **Semiótica**. São Paulo: Perspectiva, 2012. 337p.

PINHO, J. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista**. 2000. 303f. Tese (Doutorado em Educação) - Centro de Ciências da Educação, UFSC, Florianópolis.

PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE (PSSC). **Física – Parte 3**. São Paulo: EDART, 1968. 186p.

SAMPSON, V.; CLARK, D. Assessment of argument in science education: A critical review of the literature. In: BARAB, S. A.; HAY, K. E.; HICKEY, D. T. (Eds.). **Proceedings of the 7th International Conference of the Learning Sciences**. Bloomington: International Society of the Learning Sciences, 2006. p. 655-661.

SAMPSON, V.; ENDERIE, P. J.; WALKER, J. P. The development and validation of the assessment of scientific argumentation in the classroom (ASAC) observation protocol: a tool for evaluating how students participate in scientific argumentation. In: KLINE, M. S (Ed.). **Perspective on Scientific Argumentation**. Bahrain: Springer, 2012. cap.12. p. 235-264.

SANDOVAL, W. A.; MILLWOOD, K. A. What can Argumentation tell us about Epistemology? In: JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; ERDURAN, S. **Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research**. Dordrecht: Springer, 2007, cap. 4. p. 71-88.

SASSERON, L. H. **Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: estrutura e indicadores deste processo em sala de aula**. 2008. 265f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, FEUSP, São Paulo.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Uma análise dos referenciais teóricos sobre a estrutura do argumento para estudos de argumentação no ensino de ciências. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 3, p. 243-262, 2011a.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Construindo argumentação em sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de Alfabetização Científica e o padrão de Toulmin. **Ciência e Educação**, v. 17, n. 1, p. 97-114, 2011b.

SOUZA, V. F. M.; SASSERON, L. H. As interações discursivas no Ensino de Física: a promoção da discussão pelo professor e a Alfabetização Científica pelos alunos. **Ciência e Educação**, v. 18, n. 3, p. 593-611, 2012a.

SOUZA, V. F. M.; SASSERON, L. H. As perguntas em aulas investigativas de ciências: a construção teórica de categorias. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, n. 2, p. 29-44, 2012b.

TOULMIM, S. E. **Os usos do argumento**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2006. 375p.

## **Anexo 1 – Texto de sistematização sobre conservação da quantidade de movimento**

### **O movimento se conserva**

A conservação da quantidade de movimento é um princípio geral da Física que analisa o sistema físico por inteiro. A conservação significa que a variação do movimento em uma das partes do sistema necessariamente implica uma variação em outra parte do sistema.

É por isso que, quando estamos parados e passamos a andar para frente, algo vai começar a andar para trás; se fazemos uma curva a direita, algo deverá se mover para a esquerda; se jogamos algo para baixo, algo precisa ir para cima; enfim, os movimentos precisam se conservar, mas isso não parece corresponder ao que acontece na nossa vida, não é?

Estamos tão acostumados a fazer automaticamente as coisas, que deixamos de perceber o que é necessário para conseguir realizá-las. Por exemplo, ficar em pé é bastante complicado; as crianças demoram bastante para aprender a andar, mas, depois de alguns anos já fazem isso com muita facilidade. No entanto, basta aceitar o desafio de ficar em pé sobre o esquite, os patins ou mesmo uma superfície lisa e cheia de óleo ou uma pista de patinação no gelo, para ver que não é tão fácil assim ficar em pé.

Também é patinando no gelo que reparamos que é bem difícil começar a andar para frente, e mais difícil ainda parar. Basta ver as pessoas caindo para todos os lados enquanto aprendem a patinar. Pense em que coisas e ações são necessárias para alterar o movimento das bolas, dos jogadores ou então dos carros nas competições. Você imagina como as bolas ou os atletas modificam suas trajetórias, indo de um lado para o outro das quadras, nos jogos e esportes competitivos?

As coisas que passam a se mover quando inicialmente estão paradas podem ser separadas em dois grupos. Em um deles é preciso ter uma “batida”; nela, a alteração pode ser pensada como a transferência da quantidade de movimento de algo que já estava em movimento para algo parado. O outro grupo pode ser pensado como a compensação da alteração do movimento de um corpo pela variação do movimento do outro, como ocorre nas interações por atrito, quando, por exemplo, um nadador joga água para trás ou, quando em uma arrancada o carro “empurra” o chão para trás.

**Desafio**

Discuta com seus colegas e elabore dois exemplos (diferentes do texto) para cada um dos grupos das coisas que passam a se mover abordados no texto. Cada grupo deve entregar uma folha com sua resposta para o professor.