



ALEXANDRIA

ALEXANDRIA

Revista de Educação em Ciência e Tecnologia

Argumentando sobre Quantidade de Movimento e as Leis de Newton em Aulas Investigativas de Física Geral I do Ensino Superior

Discussing Linear Momentum and Newton's Laws in Inquiry Classes of General Physics 1 at the University

Bruno Isidoro^a; Alex Bellucco^a; Anna Maria Pessoa de Carvalho^b

^a Departamento de Física, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, Brasil – brunoisidoro88@gmail.com, alex.carmo@udesc.br

^b Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil – ampdcarv@usp.br

Palavras-chave:

Argumentação.
Sequência de ensino investigativa. Ensino superior. Quantidade de movimento.

Resumo: Este trabalho tem como objetivo analisar a argumentação envolvendo a linguagem matemática em uma turma de Física Geral I do ensino superior. A pesquisa foi elaborada a partir de uma sequência de ensino investigativa (SEI) sobre quantidade de movimento, sua conservação e as três leis de Newton. Para análise, utilizamos a ferramenta criada por Bellucco (2014), que destaca aspectos do ciclo argumentativo, da argumentação campo-dependente, além do uso das linguagens. Também foram analisadas a qualidade do argumento, que se aprofunda nas questões dos conteúdos e das formas como são coordenadas as alegações e evidências. Buscamos, a partir dos referenciais apresentados, resolver nossas questões de pesquisa: Qual o papel da matemática na construção de argumentos de estudantes do ensino superior? Como a linguagem matemática torna-se necessária para a construção dos significados científicos? Pudemos observar que a linguagem matemática, em muitos momentos, foi necessária para elaboração de argumentos de boa qualidade, além de auxiliar no processo de entendimento dos fenômenos e na construção de significados científicos.

Keywords:

Argumentation. Enquiry-based teaching sequence. Undergraduate level. Linear momentum.

Abstract: This paper has as its objective to analyse the argumentation by involving a mathematics language in a university class of General Physics 1. The research was elaborated as of an inquiry-based teaching sequence (IBTS) about linear momentum, its conservation and the three Newton's laws. To analyse, we used the tool create by Bellucco (2014) that highlights the aspects of the argumentative cycle, the aspects of field-dependent argumentation, besides the language use. It was also analysed the particularity involving the argumentation quality, that deepens in the subject questions and the ways the allegations and the evidences are coordinated. We started from the references presented decided our research questions: What is the mathematics role in the argumentation construction for graduation students? How the mathematics language begins necessary for the construction of scientific meaning? We could observe that the mathematic language in a lot of moments was necessary for elaboration of good quality arguments, besides helping in the process of understanding the phenomena and in the construction of scientific meanings.



Esta obra foi licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Introdução

Estudos referentes à argumentação são recorrentes quando tratamos de pesquisas em ensino-aprendizagem de ciências (BELLUCCO, 2015; BELLUCCO; CARVALHO, 2012; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE ;BROCOS, 2015; LEITÃO, 2011; NASCIMENTO; VIEIRA, 2008; SASSERON; CARVALHO, 2011a, 2011b, 2014, 2015; FERRAZ; SASSERON, 2017). De acordo com Nascimento e Vieira (2008), estas pesquisas resultam do “desenvolvimento das abordagens críticas e dialogais sobre o pensamento e a linguagem” (NASCIMENTO; VIEIRA, p. 4, 2008).

Jiménez-Aleixandre e Brocos (2015) identificam a argumentação com práticas epistêmicas, ou práticas relacionadas com a construção do conhecimento científico. Podemos observar a argumentação presente no âmago da prática científica (SANDOVAL; MILLWOOD, 2007) e, portanto, apresenta grande significância ao ensino de ciências e, por consequência, às pesquisas em ensino desta área. A argumentação em sala de aula pode ser apresentada como qualquer discurso em que o estudante ou o docente apresenta suas opiniões, descrevendo ideias, apresentando hipóteses e evidências, justificando suas alegações e explicando os resultados alcançados, situações, muitas vezes, fomentadas por meio do diálogo e interação entre os envolvidos (SASSERON; CARVALHO, 2011a). “Desse modo, promover interações discursivas contribui diretamente para o desenvolvimento do pensamento e, conseqüentemente, para o desenvolvimento intelectual” (SASSERON; CARVALHO, 2015, p. 60). Dessa maneira, são nos momentos de discussão e apresentação de ideias que os estudantes têm a oportunidade de envolver-se no processo de construção do conhecimento.

Para tanto, é preciso ocupar a sala de aula com atividades que estimulem a participação ativa do corpo discente. É necessário apresentar ações com capacidade de contextualizar e aplicar os conhecimentos em novas situações (ZOMPERO et al., 2017).

A atividade investigativa estimula o uso da argumentação durante o processo de construção do conhecimento, isso ocorre devido às interações que surgem em processos investigativos. De acordo com Ferraz e Sasseron (2017), os alunos, quando imersos em um ambiente amparado por práticas investigativas, “são estimulados a aprenderem e a desenvolverem determinados procedimentos próprios da cultura científica” (FERRAZ; SASSERON, 2017, p. 5). Dentro desses procedimentos estão a observação, a manipulação, os questionamentos, a busca por respostas aos questionamentos e a argumentação.

Desta forma, a utilização de atividades investigativas tem papel fundamental para análise da argumentação, já que apresentam metodologias que auxiliam na desinibição e na maior participação dos estudantes. Com essas práticas conseguimos tirar os alunos da zona de conforto, tornando-os ativos em sala de aula.

Tendo em vista a importância da argumentação em sala de aula, este trabalho tem por objetivo estudar a argumentação envolvendo matemática em aulas de física sobre conservação do momento e as leis de Newton. O foco na matemática se deve à nossa experiência com o ensino básico e superior, onde pudemos observar atribuições dos estudantes na utilização da matemática no contexto da física.

Sendo assim, almejamos discutir duas questões de pesquisa que são relacionados à argumentação em sala de aula: Qual o papel da matemática na construção de argumentos de estudantes do ensino superior? Como a linguagem matemática torna-se necessária para a construção dos significados científicos?

Para tanto, apresentaremos referenciais teóricos que abordam a argumentação em sala de aula, espaço propício para discussão e construção coletiva do conhecimento. Além disso, serão apresentadas a ferramenta de análise da argumentação proposta por Bellucco (2015) e a Sequência de Ensino Investigativa (SEI) sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton aplicada em uma turma da disciplina de Física Geral I do ensino superior com intuito de analisar a argumentação. A opção por essa sequência se deve ao fato que esses conteúdos são essenciais no corpo teórico da física, como destaca Carvalho (1989):

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).

Argumentação em ciências

Há, no momento, uma grande quantidade de trabalhos com o enfoque no papel da argumentação em sala de aula (BELLUCCO, 2015; BELLUCCO; CARVALHO, 2012, 2019; JIMENEZ-ALEIXANDRE, 2015; LEITÃO, 2011; NASCIMENTO; VIEIRA, 2008, SASSERON; CARVALHO, 2011a, 2011b, 2014, 2015; FERRAZ; SASSERON, 2017, entre outros). Segundo Leitão (2011), este interesse em relacionar a argumentação com os processos de construção do conhecimento tem gerado estudos que:

[...] buscam compreender o papel específico que a argumentação desempenha em processos educativos (em contraste com outras atividades de linguagem) e como esta pode ser produtivamente implementada em situações de ensino-aprendizagem (p.15).

Portanto, é possível imaginar que em uma aula em que há o papel ativo de alunos e do professor, discutindo ideias, a argumentação se torna o cerne da construção do conhecimento. E quando apresentamos o termo “argumentação” não estamos falando apenas do produto das discussões, mas todo o processo que envolve o pensar.

Exatamente, por se tratar de um processo, não podemos apenas analisar o “argumento”, que é “um dos produtos construído” (FERRAZ; SASSERON, 2017, p. 6) no

desenvolvimento argumentativo. Logo, a argumentação faz parte de todo o andamento da construção do conhecimento. Dessa forma, é preciso, ao analisar a argumentação, atenção aos processos da construção argumentativa e não apenas no produto dessa estruturação.

Mas o que são esses processos argumentativos e como eles estão relacionados ao ensino de ciências? De acordo com Ferraz e Sasseron (2017, p. 6), argumentação é:

[...] um ato discursivo plural que se caracteriza por ser um processo pelo qual um indivíduo, ou grupo de pessoas, buscam tornar clara uma determinada situação, fenômeno ou objeto, à luz de uma alegação proferida e suportada por justificativas e outros elementos que lhe conferem maior ou menor validade. Sob esta perspectiva, a argumentação é um processo que ocorre em aula quando alunos e professor interagem discursivamente com o objetivo de analisar e avaliar um fenômeno ou situação. Entendemos que o argumento é um dos produtos construído neste processo.

A sala de aula, então, é um espaço propício para construção do conhecimento por meio do compartilhamento de ideias, sejam elas divergentes ou convergentes, onde se abre o espaço para que os interlocutores possam opinar sobre diferentes assuntos. E, nesse ambiente, conveniente ao debate e à abertura de diferentes pontos de vista, encontramos um meio oportuno para que possamos verificar a construção de argumentos, o desenvolvimento de novas formas de pensar, as interações e a produção de conhecimento. Visualizando desta forma, podemos observar um ambiente símil ao da cultura científica.

As múltiplas linguagens no processo argumentativo

Devemos entender que a linguagem argumentativa se faz presente na cultura científica. Portanto, é possível pensarmos em um ensino de ciências que se avizinha, levando em conta as limitações e as diferenças culturais entre a vida científica e a escolar, da realidade científica.

Reconhecendo as ideias sobre cultura escolar e sobre cultura científica, entendemos que a escola deve perseguir a meta de concretização de conhecimentos e atitudes relacionados às ciências da natureza não apenas como uma disciplina escolar, mas como área de conhecimento da humanidade (SASSERON, 2015, p. 56).

Com isso, observamos que o conhecimento científico é concebido dentro de uma linguagem particular que envolve teste de hipóteses, busca por evidências, justificativas, além, claro da tentativa de convencimento do que é proposto.

Da mesma forma, Bellucco (2015, p. 34) considera que a argumentação no ensino de ciências pode

[...] potencializar o processo de significação pessoal dos conceitos e o raciocínio científico, estimulando o desenvolvimento da cognição e a alfabetização científica, além de promover uma melhor compreensão da natureza da ciência e suas linguagens, ao colocar os estudantes em situações de produção de conhecimento próximas às da ciência. Isso favorece também a vivência da cultura científica e suas práticas, tal como criar e justificar enunciados sobre os fenômenos físicos.

Além disso, Lemke (1997) salienta que o processo de comunicação científica não se desenvolve apenas com a linguagem oral e escrita, são essenciais outras formas de comunicação tal como gráficos, equações, tabelas etc., para construção do conhecimento. Dessa forma, sendo também a argumentação uma parte essencial da cultura científica, devemos estar atentos às múltiplas linguagens desse processo (BELLUCCO; CARVALHO, 2012).

Adentrando à cultura científica, fica ainda mais perceptível a necessidade de diferentes tipos de linguagem para explicação de diversos fenômenos. Segundo Pietrocola (2002, p. 100), a “linguagem humana estrutura o mundo imaginário das ideias”. Ou seja, podemos ir além do que está sendo visualizado naquele momento e trabalhar ideias em cima de ideias anteriores, gerando novos pensamentos: “Desta forma, o que nos separa dos demais seres vivos não é a linguagem em si como forma de comunicação entre indivíduos, mas a capacidade que temos de criar um mundo de ideias através da linguagem” (PIETROCOLA, 2002, p. 101).

A linguagem é muito mais complexa e devemos levar em consideração as diferentes formas de comunicação. Dentro da cultura científica, percebemos mais claramente a utilização de diversificadas maneiras de expressar o conhecimento. Ou seja, a linguagem científica não deve se prender apenas às linguagens escrita e oral.

As ciências necessitam de figuras, tabelas, gráficos e até mesmo da linguagem matemática para expressar suas construções. Portanto, temos de prestar atenção nas outras linguagens, uma vez que somente as linguagens verbais – oral e escrita – não são suficientes para comunicar o conhecimento científico. Temos de integrar, de maneira coerente, todas as linguagens, introduzindo os alunos nos diferentes modos de comunicação que cada disciplina utiliza, além da linguagem verbal, para a construção de seu conhecimento (CARVALHO, p. 7, 2017).

Desta forma, é preciso que o professor encoraje os alunos a utilizarem diferentes linguagens para que possam auxiliar no processo de construção do conhecimento e da enculturação científica. De acordo com Lemke (1997), aprender ciência significa também aprender a falar ciência. Significa aprender a comunicar-se por meio da linguagem científica. Significa observar, classificar, analisar, discutir, hipotetizar, questionar, avaliar, decidir, argumentar e ensinar por meio da linguagem científica (LEMKE, 1997).

Ensinar ciências, então, é possibilitar o acesso dos alunos ao universo científico. É apresentá-los a um mundo onde as observações, discussões, apresentação de ideias, capacidade de expressão e manifestação são fundamentais para construção coletiva do conhecimento. Ensinar ciências é mostrar que o aprender ciências é muito mais que decorar conteúdos, mas, sim, interpretar, questionar, saber generalizar situações e, também, argumentar.

Não se poderia pensar em ensino e aprendizagem de Ciências sem pensar no ensino e aprendizagem da argumentação e da escrita. Só se aprende fazendo[...] dessa forma, só é possível aprender a argumentar e escrever sobre um fenômeno se é propiciado aos alunos esse momento de se experimentar e aperfeiçoar-se nessas modalidades de linguagem tão caras para a Ciência (OLIVEIRA, 2017, p. 64).

Se a construção do conhecimento se faz por meio do vivenciar e do aperfeiçoamento, como podemos fazer com que os alunos tenham a experiência e a vivência próxima do fazer científico para que possam compreender a linguagem científica e, assim, edificar o saber?

É preciso pensar alternativas para que os processos argumentativos se façam presentes em sala de aula de maneira natural. Assim, podemos verificar a relevância do papel do professor no fomento das discussões. Uma das metodologias de ensino que propicia a participação intelectual ativa dos alunos é o ensino por investigação.

O ensino por investigação e a argumentação

De acordo com Sasseron e Carvalho (2011a) e Ferraz e Sasseron (2017), atividades investigativas se tornam importantes pois facilitam interações discursivas entre os estudantes, provocando processos argumentativos. Estudos com alunos da Educação Básica mostram que há um desenvolvimento da capacidade argumentativa em atividades de investigação (ZOMPERO; FIGUEIREDO, 2017).

De acordo com Ferraz e Sasseron (2017), alguns pesquisadores costumam relacionar o ensino investigativo à argumentação devido às possibilidades de interações que afloram nesse tipo de proposta. Podemos observar esta situação quando alunos adentram em atividades investigativas, quando verificamos que há o encorajamento para se envolverem com situações particulares da cultura científica, como observações, análises, questionamentos, testes de hipóteses etc.

Nesse sentido, o ensino de Ciências por investigação, além do compromisso com a Alfabetização Científica dos alunos, também favorece a criação de um ambiente privilegiado para que ocorra o surgimento e o desenvolvimento procedimentais e atitudinais da ciência, como a argumentação, pois é durante o processo de investigação de um fenômeno que os alunos são requisitados a articularem evidências e conclusões, emitirem e testarem hipóteses, construirão explicações e, conseqüentemente, seu próprio entendimento sobre o que está em discussão (FERRAZ; SASSERON, 2017, p. 5).

Pensando em um trabalho mais aprofundado, é possível refletir não apenas em uma atividade investigativa, mas toda uma sequência didática que propicie ações investigativas. Essas são as chamadas Sequência de Ensino Investigativas, as SEI's. Dentro deste contexto, Carvalho (2017) apresenta ideias que auxiliam na elaboração e planejamento de uma SEI.

Primeiro, precisamos compreender que uma sala de aula não é, definitivamente, um laboratório de ciências. É necessário o entendimento de que é preciso levar em consideração a estrutura escolar e suas limitações ao elaborar uma sequência investigativa. Além disso, é

preciso considerar que os alunos não são cientistas. Por mais óbvio que pareça, é necessário frisar esta ideia, pois pode haver uma confusão quando falamos em aproximação da cultura científica com a cultura escolar. Com isso, o professor precisa saber conduzir as atividades, a fim de conceber um ambiente investigativo propício em que os alunos possam progressivamente estender sua cultura científica.

No ensino por investigação, que estimule a aprendizagem, entende-se que os diferentes processos de ensino devem prezar pela definição de um problema (Clement, Custódio e Filho, 2015). Independente do problema escolhido, ele deve seguir uma sequência de etapas visando uma conjuntura que possibilite aos alunos levantar e testar hipóteses, passando de uma ação manipulativa a uma ação intelectual “estruturando seu pensamento e apresentando argumentações discutidas com seus colegas e com o professor” (CARVALHO, 2017, p. 10).

E, dessa forma, problematizando situações é que conseguimos superar o conhecimento firmado no senso comum. O que faz com que os alunos passem, de acordo com Paulo Freire (1996, apud CAPECCHI, 2017), a criticizar a curiosidade ingênua, transformando-a em curiosidade epistemológica. Podemos, então, observar as atividades didáticas que se utilizam do ensino por investigação como práticas que estimulam a argumentação em uma sala de aula.

Uma ferramenta para análise da argumentação

Para realizar a análise da argumentação, com enfoque na matemática, precisamos de um instrumento que nos possibilite avaliar a qualidade argumentativa dos alunos, envolvendo, nesta análise, critérios campo-dependentes, que segundo Toulmin (2006), são características particulares de cada campo do conhecimento, associadas ao conteúdo (SCARPA, 2015), além de identificar os processos argumentativos presentes.

O objetivo deste trabalho não é apenas identificar situações argumentativas, deixando de lado o contexto da construção do argumento e sua precisão, além de sua construção coletiva. É necessária uma análise mais aprofundada e, para isso, segundo a visão de Jiménez-Aleixandre e Bustamante (2003), devemos identificar operações presentes em discursos argumentativos em sala de aula, que estão relacionadas à construção do conhecimento – as chamadas operações epistêmicas – ou à exibição procedimental, ou ações dramatúrgicas – chamadas de cultura escolar. As operações epistêmicas são definidas pelos autores como “procedimentos explicativos, definições, classificações, relações causais, apelo a analogias ou comparações, ou construção de dados” (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; BUSTAMANTE, 2003, p.366).

Além disso, ao trabalharmos observando a análise da argumentação campo-dependente, podemos destacar os chamados indicadores de Alfabetização Científica que, segundo Sasseron e Carvalho (2011a), estão relacionados às ações e habilidades usadas durante a resolução de um problema de ciências, como levantamento e teste de hipóteses, seriação, classificação e organização das informações, justificativa, previsão, dedução, indução e o raciocínio lógico e proporcional. Aqui vale destacar também a abdução como uma forma de raciocínio que introduz uma nova ideia na construção do conhecimento científico, ou seja, ele trata de uma hipótese exploratória para explicar um fato novo ou surpreendente, que motiva a busca de dados para suportar uma alegação sobre esse fato (PEIRCE, 2012; RAHMAN, 2007).

Podemos constatar, também, que os processos argumentativos partem de um ciclo argumentativo (Sasseron e Carvalho, 2011a): os alunos definem as variáveis do problema, tem cuidado com os dados existentes e explicam o que está acontecendo. Sasseron e Carvalho (2011a) apresentam alguns passos não consecutivos para o ciclo argumentativo:

- Cuidado com os dados existentes: ordenar as informações para destacar sua devida importância durante a investigação, na discussão com os pares, utilizando conhecimentos previamente adquiridos.
- Definição das variáveis relevantes ao problema: envolve também a formulação de hipóteses, o uso de justificativas e previsões, validando e extrapolando as informações teóricas ou experimentais do contexto.
- Explicação: uso das construções elaboradas para relacionar as informações e as variáveis, obtendo uma ideia mais concreta sobre os fenômenos e previsões em questão.

Por meio desses trabalhos, Bellucco (2015) propôs uma ferramenta que possibilita a análise da argumentação campo-dependente, a identificação do ciclo argumentativo e o estudo da qualidade da argumentação dos estudantes. A ferramenta pode ser observada na Figura 1.

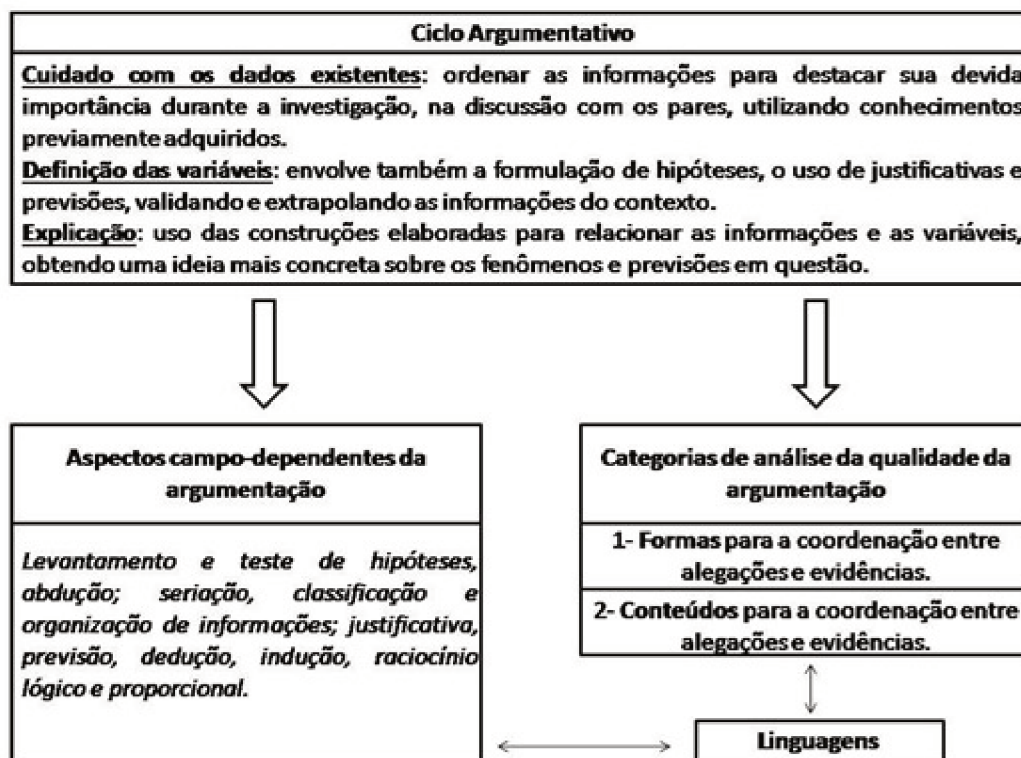


Figura 1 – Ferramenta de análise da argumentação campo-dependente
 Fonte: Bellucco (2015)

A ferramenta de análise também nos possibilita observar de maneira mais detalhada a qualidade da argumentação, examinando as (1) formas e os (2) conteúdos na maneira como as alegações e evidências são coordenadas. De acordo com Bellucco (2015), a categoria 1 nos permite avaliar como as alegações são respaldadas pelas justificativas. Um argumento coerente e de qualidade, principalmente no contexto da ciência, deve apresentar justificativas e relacionar todas as evidências disponíveis, além de explicitar os seus limites. Já a categoria 2 “engloba as práticas de justificação que envolvem os critérios campo-dependentes da argumentação” (BELLUCCO, 2015, p. 72).

Salientamos ainda a necessidade de observação das linguagens e como elas se apresentam na formulação do conhecimento científico. Durante a elaboração das argumentações é possível verificar formas de se expressar por meio da linguagem oral, escrita, algébrica, gestual e visual. Esse processo é fundamental para determinar como um aluno elabora, por exemplo, uma hipótese (somente via oral, ou utilizando, por exemplo, objetos, desenhos, gestos, gráficos etc.).

Para a aplicação desta ferramenta, foi preciso a utilização de uma sequência didática que propicie o aparecimento de situações argumentativas, que apresentamos no próximo tópico.

Contexto e metodologia

As práticas investigativas, além aproximarem os alunos do fazer e do falar ciências, podem estimular o desenvolvimento de diálogos argumentativos dentro da sala de aula. Portanto, com o intuito de promover e analisar a argumentação envolvendo matemática em sala, utilizamos a Sequência de Ensino Investigativa (SEI) para o ensino de quantidade de movimento, sua conservação e as três leis de Newton, proposta por Bellucco (2015).

A opção pela quantidade de movimento, além da sua importância histórica, se faz, de acordo com Bellucco (2015), pela escassa abordagem do tema no ensino básico e superior.

A disposição de conteúdos da SEI utilizada foi baseada no livro 1 do Principia, de Isaac Newton, que apresenta primeiro o conceito de quantidade de movimento e, ao debater, insere implicitamente a concepção de conservação.

Em seguida, nas definições III e IV, ele destaca implicitamente o que é conhecido atualmente como as três leis de Newton, e depois, no tópico 'Axiomas ou leis de movimento', ele discute as três leis de movimento em termos da variação dos momentos (BELLUCCO, 2015, p. 81).

A SEI inicia com uma problematização, que tem como intuito a construção da noção de quantidade de movimento e sua conservação. Em seguida, são apresentadas atividades que promovem a reflexão sobre as três leis de Newton, com base no princípio de conservação da quantidade de movimento. Abaixo, as sete atividades da SEI, suas descrições e objetivos.

Quadro 1 – Atividades da SEI

Atividade	Descrição	Objetivo
1 – Transferindo Movimento: o problema do pêndulo de Newton.	Problema experimental em grupo. É dado um pêndulo de Newton para cada equipe e feito um questionamento para os alunos argumentarem entre si.	A construção do conhecimento sobre a dependência da massa e da velocidade nas colisões (momento linear).
2 – O que é quantidade de movimento, afinal? O problema das colisões.	É dada uma figura com duas colisões, com apresentação das velocidades e massas. A partir daí, são feitos alguns questionamentos sobre o que ocorrerá após as colisões.	Sistematizar o que é quantidade de movimento e sua conservação (Bellucco, 2012).
3 – Problemas abertos.	São enunciadas quatro questões abertas sobre o tema estudado anteriormente.	Verificar o nível de compreensão dos alunos sobre o assunto.
4.1 – Perdidos no espaço – A primeira lei de Newton.	Apresentado um texto a ser discutido em pequenos grupos, inicialmente, e em seguida no grande grupo.	Os alunos descreverem o princípio da inércia em sua discussão.
4.2 – O que provoca um movimento? Variando a quantidade de movimento e a segunda lei de Newton.	É dada uma situação com duas questões, que envolvem quantidade de movimento, para gerar a segunda lei de Newton em sua forma original.	O objetivo é chegar a formulação original da segunda lei de Newton, que envolve a quantidade de movimento.
4.3 – Interagindo e reagindo – A terceira lei de Newton.	É feita uma demonstração investigativa da Ação e Reação. Antes dela é proposto para a turma “o que irá acontecer...”, os alunos então exibem suas ideias e depois disso o professor faz a demonstração para toda a turma.	A partir da visualização do fenômeno pode-se introduzir a lei da ação e reação.

5 – Avaliando.	Foram propostos três problemas abertos para avaliar a compreensão dos alunos sobre as atividades anteriores. Cada aluno deve entregar a folha com a sua resposta.	Nas respostas, observar a formulação do conhecimento adquirido através de atividades anteriores, matematicamente e logicamente.
----------------	---	---

Fonte: adaptado de Bellucco e Carvalho, 2014

Com o objetivo de obter os dados para a pesquisa, foi aplicada a SEI apresentada anteriormente em uma turma de Física Geral I, em uma universidade pública no estado de Santa Catarina. Trata-se de uma turma mista – em torno de cinquenta alunos de diferentes cursos e fases presentes. A atividade foi realizada em dois dias letivos, com duração de quatro horas cada, e ministrada por uma professora experiente. Antes da prática, a docente participou de reuniões com os pesquisadores para organização e entendimento dos procedimentos a serem adotados na execução da SEI. Para atividade, a turma foi dividida em grupos menores contendo em média nove alunos (repetindo os mesmos grupos durante as duas aulas).

Após autorização por escrito, as aulas foram gravadas em vídeo e áudio para auxiliar a obtenção dos dados – vale destacar que um dos pesquisadores participou da aula apenas como ouvinte. Posteriormente as ações das atividades foram transcritas, a fim de facilitar a visualização dos momentos em que houve argumentação, além de retirar da análise as ocorrências em que alunos conversavam sobre outros assuntos. As outras linguagens pertinentes à comunicação são identificadas na transcrição entre parênteses duplos. Cada trecho de argumentação é estabelecido como um episódio de ensino-aprendizagem, sendo destacado isto nas transcrições.

Com isso, selecionamos três episódios, ou seja, períodos da situação de ensino em que se torna mais evidente o que está sendo pesquisado (CARVALHO, 2011b), com o intuito de entender qual é o papel da matemática na construção argumentativa dos estudantes e como a linguagem matemática torna-se necessária para construção de significados científicos. Apresentamos neste trabalho dois episódios da primeira aula e um da segunda, que foram categorizados com a ferramenta de Bellucco (2015), permitindo a discussão de nossas questões de pesquisa. Esses dados foram validados por meio de análises independentes entre os pesquisadores, afinando o olhar sobre os dados por meio da ferramenta.

Na análise dos dados, são apresentadas introduções dos episódios, além de suas transcrições, que são divididas em cenas. Cada uma delas é exibida por meio de um quadro, com uma coluna indicando o turno do episódio, para facilitar a identificação. Outra coluna apresenta a transcrição das falas, descrições de ações e outras linguagens. A coluna mais à direita, são identificadas as categorias de análise do ciclo argumentativo e argumentação. Com o intuito de preservar a identidade dos participantes, os alunos serão apresentados com a

letra “A” mais um número de referência para diferenciá-los e a professora com a letra “P”. As ações estarão destacadas entre parênteses duplos.

Análise dos dados

Apresentamos a seguir a análise de três episódios de ensino mapeados ao longo da SEI sobre quantidade de movimento, sua conservação e as três leis de Newton.

Episódio 1 – Aula 1 – “Transferindo Movimento: o problema do pêndulo de Newton”

Nos minutos iniciais da aula, a professora explica um pouco as atividades que serão desenvolvidas ao longo da SEI. Em seguida, pede para que a turma se divida em grupos de sete a oito alunos. Após separadas equipes, são entregues pêndulos de Newton, que contém duas massas iguais e uma diferente. Antes de iniciarem a atividade, a professora foi em cada grupo apresentar o experimento e fazer alguns questionamentos iniciais referentes ao problema. A principal questão a ser respondida foi apresentada: “Fazendo o pêndulo colidir um com o outro, como é possível elevar as bolinhas sempre à mesma altura?”. O pêndulo disponível aos estudantes pode ser visto na imagem abaixo.

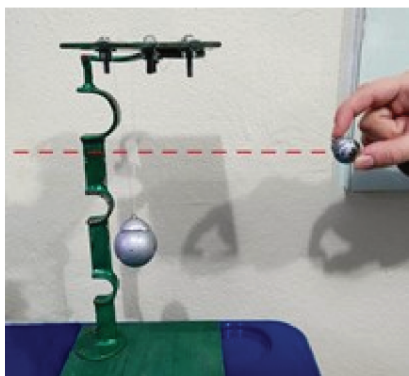


Figura 2 – Pêndulo de Newton disponibilizado aos alunos

Após a explicação, os estudantes puderam manusear o pêndulo e iniciar o processo investigativo. O episódio a seguir apresenta um dos momentos iniciais das investigações.

Quadro 2 – Episódio 1 – Momento 1

Turno	Transcrição, Descrição das ações e linguagens	Ciclo Argumentativo
0	A6: ((Faz uma pergunta para A5, aparentemente solicitando que ele explique o que entendeu)).	- Cuidado com os dados; - Definição de variáveis.
1	A5: Dá para ver que a velocidade dessa daqui ((aponta a bolinha pequena)) vai ser bem maior do que a dessa daqui ((aponta a bolinha grande e puxa ela até uma altura mediana)). A hora que você a soltou ((a bolinha grande)), essa daqui saiu bem mais rápido ((abaixa a bolinha grande e empurra a bolinha pequena fazendo-a dar um looping)).	Argumentação - Seriação, classificação e organização; - Raciocínio Lógico e proporcional; - Hipótese; - Abdução.
2	A6: A velocidade... ((para e fica pensativo, levanta e solta a bolinha de maior massa fazendo a de menor massa sair com certa velocidade)).	
3	A5: É... a velocidade é bem maior...	
4	A4: É... verdade...	
5	A8: É isso aí.	
6	A6: Tá. Tu tá dizendo que a velocidade é relativa à massa dela? ((colegas fazem gesto afirmativo)).	

Neste período é possível observar a utilização de diferentes linguagens na tentativa de entendimento e explicação do fenômeno. No turno 1, A5 utiliza-se da *linguagem visual*, ao apontar para o experimento, e *linguagem oral* mostrando uma *cooperação* das linguagens. Também é possível observar um *cuidado com os dados*, ao destacar as informações mais relevantes para resolução do problema, neste caso, a velocidade das bolinhas. Para tanto, as informações foram *seriadas*, *classificadas* e *organizadas* por meio de gestos, *definindo as variáveis* envolvidas nas colisões (massa e velocidade).

Também é possível observar que há um entendimento de proporcionalidade quando analisado o fenômeno ocorrido com a “bolinha menor” e a “bolinha maior”. A5 diz que “dá para ver que a velocidade dessa daqui ((aponta a bolinha pequena)) vai ser bem maior do que a dessa daqui ((aponta a bolinha grande e puxa ela até uma altura mediana))”. Notadamente, há um *raciocínio lógico e proporcional* (quanto menor a bolinha, maior a velocidade). É possível que os alunos consigam fazer uma relação matemática a partir desta ideia.

Desta forma, podemos observar que A5 apresenta uma ideia por meio da observação do fenômeno. Seu entendimento parte de regra observada (a velocidade das bolinhas de acordo com sua massa) para explicação de um fenômeno, o que caracteriza um *raciocínio abduativo*.

Na sequência (turno 2), A6 busca, por meio da explicação do colega, uma *justificativa*, mas é interrompido por A5. Porém, no turno 6, A6 formula uma *hipótese* com a ideia debatida anteriormente, trazendo um *raciocínio lógico e proporcional* (“Tu tá dizendo que a velocidade é relativa à massa dela”). Com isso, podemos observar uma *definição de variáveis*, pois as variáveis são apresentadas por meio da formulação de uma *hipótese*.

É possível perceber, neste ciclo apresentado acima, uma tendência à matematização, com a ideia de apresentar uma relação entre as variáveis na busca de uma equação que possa explicar o fenômeno.

Também pudemos observar a *forma* como as evidências foram relacionadas para construção da argumentação. Ainda que não se apresente uma base teórica, os estudantes levam em conta o fenômeno constatado. É possível notar que o que fora observado foi crucial para elaboração das alegações. Além disso, é possível observar uma abertura ao diálogo durante a discussão acerca do problema. Ainda que não haja uma base teórica, as ideias apresentadas pelos alunos são levadas em consideração para elaboração de hipóteses.

Quadro 3 – Episódio 1 – Momento 2

Turno	Transcrição, Descrição das ações e linguagens	Ciclo Argumentativo
7	A6: Tá, só que essa aqui ((bolinha maior)). Ela passa uma energia cinética, ela passa para as outras. Porque aqui ela está com energia potencial ((arrasta a bolinha maior até a horizontal em relação ao ponto de apoio e solta)). A energia deve se conservar.	- Explicação.
8	A8: Não joga tão alto.	Argumentação
9	A6: É. O que que você acha? ((perguntando para A8))	- Justificativa;
10	A8: Hum ((é interrompida por uma fala da professora direcionada a outro grupo e todos ficam pensativos)).	- Abdução.
11	P: Vocês podem pensar, se todas as esferas fossem iguais. Tivessem a mesma massa. O que iria acontecer? Então... todas essas hipóteses vocês podem provar... ((continua a falar com outro grupo enquanto esse grupo começa a fazer hipóteses sobre as massas))	

No turno 7, podemos perceber a introdução de novos conceitos (energia, energia cinética e energia potencial). Desta forma, é possível notar a preocupação de A6 em relacionar os conceitos e variáveis existentes às evidências observadas, o que representa uma busca de *explicação* do fenômeno. Neste processo, o estudante se utiliza de um conhecimento científico anteriormente internalizado para construção dessa *explicação*. Esta ação pode ser caracterizada como uma *abdução*, quando A6 introduz a concepção de energia cinética, usando-a como uma regra que apoiará a busca por dados para que se sustente sua conclusão. A utilização de conceitos científicos (energia cinética e energia potencial), baseando-se no conhecimento teórico como conservação de energia (“A energia deve se conservar”), se apresenta como *justificativa*.

A8, no turno 8, pede para que a massa não seja levantada tão alta, configurando um *levantamento de hipóteses*. O aluno busca novos dados, como forma de concordância ou de refutação à conclusão de A6, por meio de situações experimentais ainda não observadas tão detalhadamente e sob a luz de uma nova hipótese.

Ao dialogar com outro grupo, no turno 11, a professora acaba interrompendo a linha de raciocínio dos estudantes. Isso porque, ela acaba apresentando questionamentos ainda não elaborados pelos alunos. Isso poderá ser observado no ciclo a seguir.

Durante o ciclo apresentado acima é possível perceber que há um diálogo entre os alunos presentes, levando em conta as alegações apresentadas. Dessa vez, a participação ficou restrita aos estudantes A6 e A8, não extrapolando para os demais do grupo. Isso pode se dar pelo pouco tempo de discussão acerca dos novos conceitos apresentados, já que a linha de raciocínio foi interrompida com outro ponto a ser discutido. É interessante, também, quando observamos a presença desses conceitos como *conteúdo para coordenar alegações e evidências*. A tentativa de introduzir uma base teórica como forma de respaldar as hipóteses se assemelha ao fazer científico e acrescenta qualidade à argumentação.

Quadro 4 – Episódio 1 – Momento 3

Turno	Transcrição, Descrição das ações e linguagens	Ciclo Argumentativo
12	A5: Essas duas são iguais? ((Apontando para as duas esferas maiores)) Acho que essas duas são iguais.	- Definição de variáveis;
13	A6: ((voltando-se para o pesquisador)) Essa duas ((maiores)) são iguais... a massa delas?	Argumentação
14	Pesquisador: São ((A5 tira a esfera menor)).	- Levantamento e teste de hipóteses;
15	A8: Mas daí não vai ter... ((A6 faz a colisão entre os dois pêndulos restantes))	- Classificação e organização.
16	A6: É, vai na mesma altura.	
17	A5: Vai na mesma altura.	
18	A8: Muito divertido. A gente pode tentar calcular isso, tipo, literalmente.	
19	A7: O que? Tem a ver com a massa.	
20	A8: Cara é óbvio que tem a ver com a massa.	
21	A6: Tu queres mexer aí? ((pergunta direcionada a A8))	
22	A8: Não.	

A cena (turno 12) inicia com a *hipótese* de que duas bolinhas, das três presentes no pêndulo, apresentem a mesma massa. O processo para introdução do conceito de massa dentro da linha de discussão surgiu apenas após o questionamento da professora (turno 11). Até então, os estudantes utilizavam a ideia do tamanho das bolinhas, não levando em consideração que, mesmo com tamanhos diferentes, elas poderiam apresentar a mesma massa. Neste momento, há a *definição de variáveis relevantes ao problema*, quando os alunos formulam hipóteses sobre a importância da massa na ocasião.

Ao questionarem o pesquisador, no turno 13, sobre a massa de bolinhas com o mesmo tamanho, este respondeu à pergunta. Essa ação se fez assim, pois não havia ferramentas necessárias no ambiente para que os alunos mesmos pudessem fazer esta verificação.

Ao compreenderem que duas das bolinhas apresentavam a mesma massa, os estudantes iniciam o *levantamento e teste de hipóteses*. Lembrando que a hipótese sobre a influência da massa no problema se deu devido ao questionamento da docente. A análise visual é muito importante neste momento, pois é preciso a observação para compreender o fenômeno. Foi ela que possibilitou a conclusão de que a massa é relevante para resolução do problema (turnos 19 e 20). Ao compreender a ideia de massa como importante para o

fenômeno, os estudantes podem *classificar e organizar as informações*, colocando este conceito como relevante no processo.

Outro detalhe interessante está no turno 18, quando A8 apresenta contentamento, e até divertimento, com a descoberta (“Muito divertido”). Na sequência, demonstra curiosidade e uma possível tentativa de matematização do fenômeno. A8, aparentemente, acredita ser possível utilizar a linguagem matemática para explicação do acontecimento. É interessante observar como os estudantes buscam uma matematização para dar mais qualidade à argumentação. Ao observar o fenômeno e ver um determinado padrão, a linguagem matemática surge como uma possibilidade de busca no entendimento do problema.

Quadro 5 – Episódio 1 – Momento 4

Turno	Transcrição, Descrição das ações e linguagens	Ciclo Argumentativo
23	((Alunos fazem anotações e A3 faz mais uma colisão))	- Definição de variáveis; - Explicação.
24	A1: O problema é que ele... Não passa toda a energia. Por que ele bate, mas também continua indo... Fora quando ele não bate meio de lado ((mão se afastando do corpo, seguido de gesto com uma mão parcialmente sobreposta a outra e se afastando de novo))... ele acaba indo de lado assim.	Argumentação
25	A8: Eu acho que o brinquedo nos "trolou" então... Não pode ter a ver com a massa... Por que se vai passar energia potencial... Levanta a bolinha maior ((A6 levanta a bolinha maior e a solta)).	- Abdução; - Levantamento e teste de hipóteses; - Justificativa - Raciocínio lógico e proporcional.
26	A1: Tem um pouco a ver com a massa sim, por que... ((é interrompido por A8))	
27	A8: Tá. Agora bate... ((A6 solta a bolinha maior)) Pode parar... Levanta a menor.	
28	A6: Qual?	
29	A8: A menor... ((A6 levanta e solta a bolinha menor)) Tecnicamente tem... Mas tipo...	
30	A1: É por que... Tipo a energia da pequena pode ser a mesma, mas é necessário, tipo, uma força menor para mexer ela mais rápido do que para a maior... Então ela vai passar a energia...	
31	A2: Então... A energia... Da pequena... É menor por que... Pela energia potencial gravitacional que todas têm depende da massa... E a energia potencial da pequena depende da massa.	
32	A1: Sim... É... A energia potencial da pequena.	
33	A8: Tá e quando vai transferir a energia... A energia cinética... Também vai depender da massa.	
34	A1: Sim.	

Já no início do momento, no turno 24, A1, ao relatar uma situação observada, faz uma *definição das variáveis existentes*, justificando sua *hipótese* por meio de conceitos físicos, o que também caracteriza uma *abdução*, que leva à busca de mais dados por meio das colisões realizadas nos turnos subsequências. Outro ponto interessante observado neste turno é a *cooperação* entre as linguagens. Ao mesmo tempo em que A1 relata “fora quando ele não bate meio de lado” (*linguagem oral*), tenta apresentar seu argumento por meio da *linguagem gestual/visual*. A intenção foi deixar mais clara a sua ideia e possibilitar uma melhor

visualização do que o aluno estava apresentando. A *linguagem gestual/visual* viabiliza o entendimento dos presentes.

No turno 25, A8 introduz uma refutação à linha de pensamento que as discussões estavam caminhando ao comentar “não pode ter a ver com a massa”. O conceito de massa, até então, estava sendo fortemente utilizado para amparar as argumentações. Ao buscar uma refutação, A8 provoca um novo *levantamento e teste de hipóteses* procurando evidências para sua alegação. Enquanto a experimentação é realizada (entre os turnos 25 e 29), é perceptível que A1 e A8 entram em discordância. Enquanto A1 compreende que o conceito de massa é importante para resolução do problema, A8 ainda busca dados para ter certeza desta afirmação. Algo interessante que ocorre, é que, aparentemente, um não leva em consideração a fala do outro. A1 parece não achar necessário testar hipóteses que desconsiderem a massa. Já A8, interrompe a tentativa de explicação de A1, focando apenas na sua hipótese. Porém, ao turno 25, A8 refuta a hipótese de que discutir a massa não é necessário para o problema.

A1, no turno 30, usa a fala de A8 como *justificativa* de seu argumento anterior, usando a questão de uma pequena massa transferir uma energia menor, conseqüentemente fazendo a bolinha maior subir menos. Podemos observar nesta fala a utilização de um *raciocínio lógico e proporcional*, quando é possível verificar uma *explicação* do fenômeno relacionando maior e menor massa com a ideia de velocidade (mais rápido). Além disso, a utilização de conceitos físicos como energia e força.

Entre os turnos 30 e 33, podemos observar o emprego de *raciocínio abdução* por parte de A2 e A8. A2 introduz o conceito de energia potencial para justificar o quanto de energia é transferido na colisão. Já A8, no turno 32, procura *justificar* com o conceito de energia cinética do seu ponto de vista.

É possível observar no ciclo apresentado acima uma tentativa de matematização para *explicação* do fenômeno, ao tentar relacionar as variáveis existentes com conceitos de energia e de força.

Também é possível verificar um momento de discordância, gerando situações de refutação. Novamente, os argumentos buscam ser fundamentados em questões conceituais, para relacionar as evidências com as alegações. Porém, no turno 25, foi possível observar uma negação ao diálogo, quando A8 ignora a explicação de A1. Quando analisamos a qualidade a argumentação, precisamos observar também a *forma* como os argumentos foram construídos. Ou seja, a preocupação em observar diferentes pontos de vista durante um diálogo. Isso torna a base da hipótese mais sólida, com diversificados questionamentos para formulação da mesma. Desta forma, é preciso que se leve em consideração as diferentes indagações. Porém, mesmo com essa discordância durante a discussão, ao final do ciclo apresentado, pudemos constatar que houve uma concordância sobre a relevância da massa para o problema, com

base nas observações experimentais. Mesmo que ainda não sendo apresentada uma base teórica, os estudantes levam em consideração os pontos apresentados e, principalmente, o fenômeno observado para respaldar suas hipóteses.

Episódio 2 – Aula 1 – “Problemas Abertos”

Antes da professora apresentar os problemas abertos da SEI, foi feita a leitura coletiva de um texto sobre conservação da quantidade de movimento. Anteriormente, os alunos já haviam discutido o conceito de quantidade de movimento com o problema sobre colisões. Após a leitura, a professora apresenta a questão a ser discutida na atividade proposta: “Qual a máxima quantidade de movimento que você consegue transferir a uma bola durante um pênalti?”.

Com isso, os alunos iniciam a discussão buscando outras situações, que não o chute de uma bola, para entender o problema. Inicialmente, o diálogo foca na influência do vento no movimento de um barco logo após a abertura de uma vela. Os estudantes entendem que há uma “força” agindo sobre a vela para tirar o barco do “repouso” e colocá-lo em movimento. Também é feita uma análise envolvendo bolas de sinuca. Neste momento, a discussão ocorre desta maneira:

Quadro 6 – Episódio 2 – Momento 1

Turno	Transcrição, Descrição das ações e linguagens	Ciclo Argumentativo
1	A7: A bola está parada... Você dá uma tacada com a branca...	- Definição de variáveis existentes; - Explicação.
2	A2: Pois é, muito bom.	
		Argumentação
3	A2: Ela tem um argumento muito bom	- Indução; - Levantamento de hipóteses; - Abdução; - Justificativa.
4	A7: Você dá uma tacada com a bola branca... ((faz gesto como se a bola se movesse))	
5	A4: Eu também falei.	
3	A6: Você tinha falado?	
7	A4: Eu tinha dito para vocês...	
8	A8: Então, massa do seu pé vezes a velocidade...	
9	A7: Então você tem que ter uma massa muito grande no pé... ((lê o problema)) "consequentemente, qual é a velocidade adquirida pela bola após o chute?". Deve ser a quantidade de movimento que você deu dividido pela massa da bola.	

Do turno 1 ao 4, os alunos fazem uma analogia ao jogo de bilhar, comparando como o taco transfere quantidade de movimento à bola branca com como o pé passa quantidade de movimento para a bola durante um pênalti. Desta forma, é possível observar uma tentativa de *indução*, ao tentar relacionar um fenômeno específico (movimento das bolas na sinuca) para algo mais geral. Assim, poderiam, em seguida, relacionar ao fenômeno do problema apresentado (bola durante o pênalti).

A7, no turno 4, busca fazer uma *cooperação* entre as *linguagens oral e gestual/visual*, como forma de melhor entender o fenômeno. A7 já havia tentado *explicar* a situação anteriormente, porém, apenas A2 prestou atenção no início de tentativa de *explicação*. Em seguida, no turno 5, A4 diz que também tinha tentado utilizar a mesma analogia. Na expressão de A4 foi possível perceber um descontentamento por não ter sido ouvida pelos outros membros do grupo. Por isso, entre o turno 7 e 8 há um silêncio no grupo, aparentemente devido ao clima criado.

No turno 8, A8 *levanta uma hipótese*, ajudando a *definir as variáveis existentes*, ao apresentar os conceitos de massa e velocidade como variáveis relevantes ao problema.

No turno 9, podemos observar uma *justificativa* implícita, quando A7 estima a massa do pé e, ainda, pressupõe que todo momento deste é transferido para a bola após a colisão. Esse processo pode ser visto por meio de uma tentativa de matematização mais aprofundada. Por meio de uma *explicação*, A7 desenvolve uma *hipótese*, levando em consideração seu conhecimento acerca do tema. Por mais que não apresente as equações durante a fala, é possível perceber como a matematização foi usada para elaboração do seu argumento.

Este processo de matematização fortalece a qualidade do argumento, quando analisamos os *conteúdos para coordenação entre alegações e evidências*. Além disso, podemos observar o uso de conceitos físicos (velocidade e massa) e suas relações, trazendo um maior embasamento na argumentação.

Episódio 3 - Aula 2 - “Atividade 4.1: Perdidos no Espaço – A primeira lei de Newton”

Divididos em pequenos grupos, os alunos são apresentados ao problema a seguir:

“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?” (Bellucco, 2015, p.88).

Após leitura, inicia-se a discussão:

Quadro 7 – Episódio 3 – Momento 1

Turno	Transcrição, Descrição das ações e linguagens	Ciclo Argumentativo
1	A5: É... deve ter como controlar (o movimento do foguete), né? Alguma coisa, né?	- Explicação; - Definição de variáveis; - Cuidado com os dados existentes.
2	A7: É alguma coisa...	
3	A5: Tu programa...	
4	A8: Pra mudar de direção é exatamente, mesmo se ele tivesse sozinho boiando no espaço, se ele tivesse com uma mochila nas costas, era só ele empurrar a mochila que ele ia pro outro lado.	
5	A5: Ah, pra mudar no espaço.	Argumentação
6	A8: É...	- Levantamento de hipóteses; - Indução; - Classificação e organização das informações;
7	A5: Mudar de direção no espaço, mas como é que faz então? Tipo...	
8	A8: Eu não sei. No foguete eu não sei. Deve ter algum sistema de empurrar dentro do foguete pra um lado ou pro outro, algo assim.	
9	A4: É...	
10	A8: Mas tipo, sei lá, como eu falei, um cara que tem uma mochila no espaço, tá boiando no espaço e ele precisa voltar pra Terra, o que ele faz? Empurra a mochila pra um lado e volta para a Terra.	

Após discutir questões envolvendo o início da jornada de um foguete, ao pensar sobre a saída dele da atmosfera terrestre, os alunos começam a refletir sobre indagações referentes ao movimento da nave no espaço. Logo no início das discussões (turno 1 e 3), é possível observar *levantamento de hipóteses* envolvendo a movimentação de objetos no espaço. A5 apresenta uma alegação, ainda que sem confiança, de que é possível o controle de uma nave no espaço. Em seguida, no turno 3, levanta a *hipótese* que esta ação é possível com uso de “programa”. O que se apresenta, neste início de episódio, são *hipóteses* sem embasamentos teóricos, por meio de conhecimentos prévios.

A8, no turno 4, apresenta uma *definição de variáveis existentes*, formulando *hipóteses*, por meio de uma *indução*, ao apresentar uma situação específica e tentando extrapolar para situações mais gerais.

No turno 8, A8 levanta a *hipótese* de que “deve ter algum sistema de empurrar dentro do foguete para um lado e para o outro”, já considerando que há a possibilidade de mobilidade da nave no espaço. Ao turno 10, apresenta uma *hipótese*, já considerando a ideia de massa, ainda que implicitamente, como forma de *explicação* do fenômeno. A ideia se mantém no processo de *indução*, ao buscar um problema específico e extrapolá-lo para situações mais gerais. No caso, *explicar* o movimento de corpos no espaço sob a lógica de um indivíduo que precisa arremessar um objeto para se mover (“um cara que tem uma mochila no espaço, tá boiando no espaço e ele precisa voltar pra Terra, o que ele faz? Empurra a mochila para um lado e volta para a Terra”).

É possível observar, neste início de discussão, que não há, ainda conceitos físicos bem definidos para a elaboração dos argumentos. Também podemos notar que há uma colaboração

entre os integrantes do grupo, levando em consideração todas as *hipóteses* apresentadas na tentativa de formular argumentos.

Quadro 8 – Episódio 3 – Momento 2

Turno	Transcrição, Descrição das ações e linguagens	Ciclo Argumentativo
11	A5: Tá, então o que que a gente conclui? O que que é preciso? Será que se tiver um ar que empurre assim, tipo o ar não vai fazer diferença?	- Explicação; - Cuidado com os dados existentes.
12	A8: Vai sim! É matéria indo pra lá, daí ele vai pro outro lado.	
13	A5: Mas tipo, não tem gravidade.	Argumentação
14	A8: Não tem, mas... pois é, ele que tá ali indo pra uma direçõzinha só, certo? Essa aí é a inércia, ele tá indo até um corpo dissipar ele. Então assim ó, ele tá indo pra lá ((usa a mão como exemplo)), aí digamos ele abre uma porta e sai ar por ali ((aponta a direção do dorso da mão)), por exemplo, daí ele vai começar a ir pra cá ((aponta para direção contrário, lado da pão da mão)). Porque a matéria tá indo pra lá ((aponta para o lado do dorso da mão)) empurrando.	- Levantamento de hipóteses; - Abdução; - Previsão; - Raciocínio lógico e proporcional.
15	A3: Mas então ali vai ter uma força... Eu entendi, mas então o combustível... lá a combustão vai fazer diferença também no espaço.	
16	A5: Vai, mas aí...	
17	A1: Vai.	
18	A7: Vai, mas aí ele só vai jogar um pouquinho...	
19	A3: Só quando ele for pegar embalo.	
20	A8: É... só quando ele quiser ir mais rápido, entende? Não que ele precise disso!	

A continuação da discussão referente ao foguete inicia (turno 11) com um *levantamento de hipóteses*, por parte do A5, por meio de um questionamento (Será que se tiver um ar que empurre assim, tipo o ar não vai fazer diferença?). A8, no turno 12, concorda por meio de uma *abdução*, já considerando a relação da massa (“matéria”) com o movimento para entender o fenômeno. Desta forma, também apresenta uma *previsão* (“...matéria indo pra lá, daí ele vai pro outro lado”).

No turno 13, há uma tentativa de refutação das *hipóteses* apresentadas (“mas tipo, não tem gravidade”). A8, então, no turno 14, apresenta uma *explicação*, com conceitos físicos (inércia e dissipação) relacionando as informações com as hipóteses (“sai ar por ali, por exemplo, daí ele começa a ir pra cá”). Novamente é possível observar um raciocínio *abduativo*, ao utilizar essa hipótese como forma de explicar um novo conhecimento. No turno 15, podemos verificar que A3 apresenta um *raciocínio abduativo*, retomando uma variável (combustível) que havia sido deixada de lado em discussões anteriores. Seguindo a ideia apresentada por A8, ele busca entender a importância ou não da combustão no processo de controle do foguete no espaço. Ao final do episódio (turno 20), A8 mostra um *raciocínio lógico e proporcional*, por meio de um *cuidado com os dados existentes*, ao relacionar a massa, ainda que de maneira implícita, do combustível que seria expelida à velocidade do

foguete. Este também pode ser considerado um início de matematização, quando é buscado uma relação entre os dados apresentados (explicitamente ou implicitamente) no problema.

O que se pode observar neste episódio é uma tentativa cada vez maior de buscar conceitos físicos na busca de respostas para o problema, tornando as argumentações presentes com maior qualidade quando analisamos a *coordenação entre alegações e evidências por meio dos conteúdos*. Os conceitos são utilizados como forma de respaldar uma possível conclusão, mas também como forma de questionamento às justificativas (turno 13).

Considerações finais

Buscamos, com este trabalho, contribuir com as discussões mais recentes acerca da utilização e importância da argumentação na construção do conhecimento. Com o objetivo de entender a argumentação envolvendo a linguagem matemática por parte dos alunos em uma Sequência de Ensino Investigativo (SEI), observamos, na interação entre os envolvidos em um processo de aprendizagem em sala de aula, os argumentos apresentados e como eles são formulados, tendo como ponto de partida as questões de pesquisa: *Qual o papel da matemática na construção de argumentos de estudantes do ensino superior? Como a linguagem matemática torna-se necessária para a construção dos significados científicos?*

Pudemos observar, ao longo dos episódios selecionados uma transição entre as dimensões do ciclo argumentativo, desde o momento de ordenação das informações existentes ao processo de construção de hipóteses mais elaboradas. Esse processo não se apresenta de maneira linear, fazendo com que todo o transcurso necessite momentos para o cuidado com os dados existentes, definições das variáveis relevantes ao problema e explicações embasadas em conceitos físicos. Este trânsito perpassa naturalmente entre as categorias do ciclo argumentativo de acordo com a discussão. De qualquer maneira, pudemos observar que a classificação e a organização das informações são muito relevantes para iniciar o ciclo argumentativo, sendo necessárias para estruturar o problema na busca do entendimento e explicações para o fenômeno.

O levantamento e teste de hipóteses também são muito importantes, pois são por meio deles que se buscam justificativas e se constroem explicações a fim de dar força para um determinado pensamento. No experimento *Transferindo Movimento: o problema do pêndulo de Newton*, aplicado em aula e analisado neste trabalho, pudemos observar que as hipóteses podem ser testadas e analisadas visualmente, quando a discussão ocorre. Sendo assim, não se confirmando estas, é possível, por meio do experimento, criar hipóteses para justificar o fenômeno. Já na atividade *4.1: Perdidos no Espaço – A primeira lei de Newton*, a visualização não pode ser feita pelos olhos, mas sim, na imaginação. Desta forma, para que as

hipóteses e previsões sejam comprovadas, são necessários um pouco de experiência e embasamento teórico.

A utilização de diferentes tipos de linguagem também auxilia na elaboração dos argumentos. Em diversos momentos a linguagem gestual/visual foi fundamental para aprofundamento nas discussões, tanto nos processos de experimentação como na elaboração de hipóteses.

Durante os processos argumentativos foi perceptível a utilização de alegações em diferentes classificações das características campo-dependentes. Dentro desses critérios, foi possível observar a utilização da matematização em diferentes momentos, tanto no levantamento de hipóteses até em raciocínios abduativos.

Ao analisarmos a qualidade da argumentação presente em todo o processo, pudemos observar uma alta qualidade em diversos momentos, tanto em relação aos *conteúdos* e *formas* para coordenação entre alegações e evidências. Em relação às *formas*, foi possível verificar a utilização de justificativas e alegações bem elaboradas, sempre considerando o que fora discutido e às evidências apresentadas. É interessante que, mesmo antes de se apresentarem embasamentos teóricos, há uma tentativa de entendimento do fenômeno por meio da observação. No episódio 1, entre os turnos 0 e 6, os alunos expõem hipóteses de acordo com o fato atentado, ainda sem buscar justificar com explicações teóricas. Porém, a partir do turno 7, os estudantes buscam introduzir uma base teórica como forma de respaldar as hipóteses. Nos episódios 2 e 3, sem a possibilidade de observação física, a análise precisou ser feita por meio da imaginação e de maior base teórica nas justificativas.

Ao analisarmos a qualidade da argumentação por meio dos *conteúdos* para coordenação entre alegações e evidências, pudemos observar que os estudantes se apoiaram em alicerces teóricos, como pode ser visto quando foram utilizados conceitos de energia cinética, energia potencial e força, além de recorrer ao princípio da conservação de energia e em evidências experimentais a partir da observação das colisões. Isso destaca a importância do professor criar momentos para discussão coletiva dos argumentos construídos nos pequenos grupos, com o intuito de promover a reflexão sobre as bases teóricas que os sustentam – no nosso caso, no episódio 1, seria essencial para perceber a insuficiência das discussões sobre energia para a resolução do problema, emergindo a necessidade da introdução dos conceitos quantidade de movimento e sua conservação.

Além disso, a matematização muitas vezes foi fundamental para elaboração de alegações: por exemplo, no episódio 2, A7, no turno 11, apresenta conceitos físicos e os relaciona em uma possível equação. Esta maneira de observar o problema busca auxiliar no processo de entendimento do mesmo. Dessa forma, o processo de entendimento das relações

entre as variáveis e dados por meio da linguagem matemática pode auxiliar o entendimento e a busca de respostas para os problemas apresentados.

Referências

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, p. 1-9, 2012.

BELLUCCO, A. *Argumentação Matemática em aulas investigativas de física*. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

BELLUCCO, A.; CARVALHO, A.M.P. Múltiplas linguagens e a matemática no processo de argumentação em uma aula de física: análise dos dados de um laboratório aberto. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 17, n. 1, p. 209-226, 2012.

BELLUCCO, A.; CARVALHO, A.M.P. Uma proposta de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as Leis de Newton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.31, n.1, p. 30-59, 2014.

BELLUCCO, A.; CARVALHO, A.M.P. Argumentação campo-dependente em aulas sobre quantidade de movimento. *Avances En La Enseñanza De La Física*, v. 1, n. 1, p. 35-59, 2019. Disponível em: <http://ojs.cfe.edu.uy/index.php/rev_fisica/article/view/290>. Último acesso em: 7 nov. 2020.

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, 2017. p. 1-20.

CARVALHO, A.M.P. Física: uma proposta construtivista. São Paulo: EPU LTDA, 1989,

CLEMENT, L.; CUSTÓDIO, J.F.; FILHO, J.P.A., Potencialidades do ensino por investigação para promoção da motivação autônoma na educação científica. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 8, n. 1, p. 101-129, 2015.

FERRAZ, A.T.; SASSERON, L.H. Espaço interativo de argumentação colaborativa: condições criadas pelo professor para promover argumentação em aulas investigativas. *Revista Ensaio*, v.19, e2658, p. 1-25, 2017.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.P.; BROCCOS, P. Desafios metodológicos da argumentação em ensino de ciências. *Revista Ensaio*, v.17, n.especial, p. 139-159, 2015.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.P.; DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. 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.

LEITÃO, S. O lugar da argumentação na construção do conhecimento. In: LEITÃO, S.; DAMIANOVIC, M. C. (Org.), *Argumentação na escola: O conhecimento em construção*. Campinas: Pontes Editores, 2011. p. 13-46.

LEMKE, J.L. Aprender a hablar ciencias: lenguaje, aprendizaje y valores. Barcelona: Paidós, 1997.

NASCIMENTO, S.S; VIEIRA, R.D. Contribuições e limites do padrão de argumento de Toulmin aplicado em situações argumentativas de sala de aula de Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 8, n. 2, 2008.

OLIVEIRA, C.M.A. O que se fala e se escreve nas aulas de Ciências? In: CARVALHO, A.M.P. (Org.), *Ensino de ciências por investigação - condições para implementação em sala de aula*, São Paulo : Cengage Learning, 2017. p. 63-75.

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

PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.19, n.1, p. 89-109, 2002.

RAHMAN, S. Abduction, belief-revision and non-normality. In POMBO, O., GERNER, A. (Eds.), *Abduction and the process of scientific discovery*. Lisboa: Publidisa, 2007. p. 13-26

SANDOVAL, W.A; MILWOOD, K.A. What can argumentation tell us about epistemology? In: JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; ERDURAN, S. (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research*. Dordrecht, the Netherlands, 2007. p. 71-88.

SASSERON, L.H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. *Revista Ensaio*, v.17, n. especial, p. 49-67, 2015.

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

SASSERON, L.H.; CARVALHO, A.M.P. Uma análise de referenciais teóricos sobre a estrutura do argumento para estudos de argumentação no ensino de ciências. *Revista Ensaio*, v.13, n. 03, p. 243-262, 2011b.

SCARPA, D.L. O papel da argumentação no ensino de ciências: lições de um workshop. *Revista Ensaio*, v.17 especial, p. 15-30, 2015.

ZOMPERO, A.F.; FIGUEIREDO, H.R.S.; GARBIM, T.H. Atividades de investigação e a transferência de significados sobre o tema educação alimentar no ensino fundamental. *Ciência & Educação*, v. 23, p. 659-676, 2017.

SOBRE OS AUTORES

BRUNO ISIDORO. Graduando no curso de licenciatura em Física na Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc). Bolsista no Programa de Bolsa de Iniciação Científica - Udesc com os projetos Argumentação e Matemática em Aulas Investigativas de Física e Argumentação, Raciocínio Crítico e Ensino por Investigação. Faz parte do Grupo de Estudos e Pesquisa em Ensino de Física e Tecnologia da Udesc. Possui graduação em Comunicação Social - Jornalismo pelo Instituto Superior e Centro Educacional Luterano Bom Jesus (2013).

ALEX BELLUCCO. Possui graduação em Física Licenciatura pela Universidade de São Paulo (2003), mestrado pelo Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino pela Universidade de São Paulo (2006) e doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Educação pela Universidade de São Paulo (2015). Atualmente é professor adjunto da Universidade do Estado de Santa Catarina. Tem experiência na área de Física, com ênfase em

Física, atuando principalmente nos seguintes temas: ensino de física, linguagens, ensino de ciências, argumentação e matemática.

ANNA MARIA PESSOA DE CARVALHO. Licenciada e bacharel em Física pela USP. Fez seu doutoramento em Educação, na área de ensino de ciências na FEUSP. É pesquisadora senior do CNPq, professora da Pós-Graduação em Educação da FEUSP e da Pós-Graduação Interunidades de Ensino de Ciências ambos da USP e coordenadora do Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física/LAPEF da FEUSP. Foi dietora da FEUSP no período de 1994-1998. Pertenceu a Diretoria da SBF (Secretária de Ensino) e foi representante brasileira na International Commission on Physics Education (1991-2000) quando foi eleita secretária por dois mandatos (1994-2000). Foi presidente do Conselho Curador e Diretora Executiva da Fundação de Apoio à Faculdade de Educação - FAFE. Pertenceu aos C.As de Educação do CNPq e da CAPES. É representante brasileira no Conselho Interamericano de Ensino de Física (foi presidente deste Conselho no período de 1991-1993). Pertence a Academia Paulista de Educação.

Recebido: 21 de agosto de 2019.

Revisado: 28 de outubro de 2020.

Aceito: 04 de novembro de 2020.