

# ARGUMENTAÇÃO CAMPO-DEPENDENTE EM AULAS SOBRE QUANTIDADE DE MOVIMENTO: OBSTÁCULOS PARA A MATEMATIZAÇÃO

**Field-dependent argumentation in classes about linear momentum: obstacles to mathematization.**

*Alex Bellucco*

Universidade do Estado de Santa Catarina  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1478-7735>

*Anna Maria Pessoa de Carvalho*

Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física- LAPEF.  
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2671-3810>

Recibido: 22 de mayo de 2019

Aceptado: 8 de julio de 2019

## Resumo

Compreender como o conhecimento matemático é demandado na construção dos argumentos científicos dos estudantes em aulas física, incluindo os obstáculos que se apresentam nesse processo, é um grande desafio para os pesquisadores do ensino de ciências. Lançamos luz sobre essa problemática, por meio de uma ferramenta que visa o estudo da argumentação denominada campo-dependente por Toulmin (2006). Desenvolvemos esse instrumento com o intuito de analisar o processo argumentativo, considerando como são apresentadas e validadas as alegações científicas e ponderando sobre as linguagens da ciência usadas em sala de aula, mais a qualidade do discurso argumentativo em sua *forma e conteúdo*. Esse referencial foi utilizado para o estudo de gravações em vídeo de uma sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, ministrada para uma turma do primeiro ano do ensino médio, em uma escola pública. Verificamos a intensa frequência das propriedades da argumentação destacadas, com um grande movimento das diferentes linguagens na construção dos significados. Por outro lado, ficou explícita a desconexão entre fenômenos e suas representações, à medida que os estudantes se distanciaram do problema experimental do início da sequência de ensino investigativa e se envolveram no processo de resolução de problemas – demandando planejamento de atividades específicas para estimular a reflexão sobre essas situações.

## Palavras-chave

Argumentação campo-dependente. Linguagens. Linguagem Matemática. Momento Linear. Ensino por Investigação.

## Title

Field-dependent argumentation in classes about linear momentum: obstacles to mathematization.

## Abstract

Understanding how mathematical knowledge is essential in construction of students' scientific argumentation in physics classes, including the obstacles that crop up in this process, is a major challenge for science teaching researchers. We shed light on this problem by means of a tool that focuses on the study of what Toulmin (2006) denominated field-dependent argumentation.

We developed this tool with the intent to study the argumentative process, pondering how the scientific claims are presented and validated, which led us to consider the science languages used in the classroom in addition to the quality of the *form* and *content* of the argumentative discourse. This reference was used for studying the video recordings of an inquiry-based teaching sequence about linear momentum, given to a first-year middle school group of a state school. We found intense frequency of the highlighted argumentation properties with major movement of the different languages in the construction of the meanings. On the other hand, the disconnection among phenomena and their representations was explicit as the students distanced themselves from the inquiry problem at the beginning of the inquiry-based teaching sequence and involved themselves in the problem solving process – demanding specific planning of activities to encourage reflection on such situations.

**Keywords:** Field-dependent Argumentation. Languages. Linear Momentum. Mathematical Language. Inquiry-based Teaching.

## Introdução

Nas duas últimas décadas houve uma crescente produção sobre argumentação no ensino de ciências, tanto como uma meta de ensino quanto como uma ferramenta para análise de situações de ensino-aprendizagem. Nesse contexto, muitos trabalhos enfocam as interações discursivas na sala de aula na construção da argumentação (Capecchi, 2004a, 2004a; Driver et. al., 1994, Jiménez-Aleixandre, 2005, Jiménez-Aleixandre e Bustamante, 2003; Jiménez-Aleixandre et. al., 2000; Mortimer e Scott, 2002; Nascimento e Vieira, 2009; Sasseron e Carvalho, 2011a; Souza e Sasseron, 2012a, 2012a). A partir das interações discursivas, o professor pode também estabelecer uma ponte entre a cultura dos alunos, a cultura escolar e a científica, enfatizando os argumentos baseados em justificativas e evidências, típicos da ciência (Capecchi, 2004a; Jiménez-Aleixandre, 2005; Sasseron e Carvalho, 2011a; Souza e Sasseron, 2012b).

Jiménez-Aleixandre e Bustamante (2003) definem o discurso introduzido pelo professor na sala de aula como um sistema de comunicação, no qual a linguagem – principalmente a oral – desempenha um papel fundamental para os processos de ensino e aprendizagem e o entendimento deles. A comunicação deve possibilitar a construção de significados compartilhados em nível cognitivo e social, o que nem sempre ocorre, pois, a linguagem científica pode ter diferentes significados para diferentes pessoas, o que destaca o seu papel interpretativo. A análise do discurso é importante para o estudo desse tipo de questão, na medida em que foca no processo de aprendizagem e, ainda, complementa os estudos sobre concepções prévias que observam o produto do ensino. Dessa forma, no contexto do processo de comunicação em sala de aula, é fundamental a argumentação, que é entendida como “[...] a capacidade de relacionar dados e conclusões, de avaliar enunciados teóricos a luz de dados empíricos ou procedentes de outras fontes” (Jiménez-Aleixandre e Bustamante, op. cit., p. 361). Logo, o ensino de ciências deve promover a capacidade de desenvolver e justificar enunciados e ações com o objetivo de compreender a natureza, ou melhor, deve fazer o aluno argumentar. Essa é uma maneira de ter acesso à forma como o aluno pensa.

Sandoval e Millwood (2007) destacam que a argumentação está no cerne das práticas científicas e, por isso, deve ser considerada no ensino de ciências. Além disso, a compreensão de suas normas permite aos estudantes perceberem aspectos essenciais da epistemologia da ciência. No mesmo sentido, para Sampson et al. (2012) a argumentação constitui a essência das práticas de construção, avaliação e validação do conhecimento científico, porém poucos estudantes têm oportunidade de ensaiar o uso desse discurso, o que levou à elaboração de várias propostas que tentam sanar esse problema.

Dentro desse panorama, Sandoval e Millwood (op. cit.) ainda apontam que a característica epistemológica da argumentação em ciências emerge no processo de justificação das alegações científicas – o principal objetivo do ensino que visa à argumentação. Isso remete às seguintes questões, que dependem de conhecimentos epistemológicos para suas respostas:

O que conta como alegação? O que conta como prova? Como você decide que tipo de evidência apoia ou refuta uma alegação particular? Como alegações individuais são organizadas para produzir um argumento coerente? Que tipos de coordenação de alegações e evidências constituem argumento persuasivo? (Sandoval e Millwood, 2007, p. 72).

A nosso ver, a resposta para esses questionamentos está presente no trabalho de Sampson e Clark (2006), ou seja, procura-se estabelecer a aceitabilidade da explicação coordenando evidências afirmativas ou contraditórias sobre a observação de um fenômeno ou uma afirmação descritiva ou exploratória. Nesse processo, deve-se ficar atento aos critérios epistemológicos que definem o que conta ou não como justificativa. Ou seja, encontramos na dimensão campo-dependente (Toulmin, 2006) da argumentação científica, em que há formas particulares de fundamentar e questionar as alegações, que dependem da natureza do conhecimento científico e, conseqüentemente, remetem à sua epistemologia. Em sala de aula, construir um processo argumentativo que dê conta de características epistêmicas desse discurso é um grande desafio aos educadores, visto que boa parte dos trabalhos focam a estrutura do argumento e poucos estudaram em mais detalhes a dimensão epistêmica da argumentação (Erduran, 2007), ou campo-dependente na linguagem de Toulmin.

Nesse trabalho, apresentamos uma ferramenta de análise do discurso que procura destacar a dimensão epistêmica ou campo-dependente da argumentação em sala de aula. Mostramos a utilidade desse instrumento para a compreensão do processo argumentativo em aulas de física, ao investigar as dificuldades de estudantes do ensino médio, durante a construção do entendimento da matematização de fenômenos que envolvem a conservação da quantidade de movimento.

O enfoque no uso da matemática para estruturar o pensamento sobre os fenômenos físicos se deve a nossa experiência com o ensino básico, ou seja, sistematicamente observamos o insucesso dos estudantes no uso da matemática no contexto da física. Esse fracasso é um dos motivos que impactam na baixa procura por cursos de exatas – algo que também é observado em diferentes partes do mundo (Fourez, 2003; Urquhart, 2002).

Além disso, os cursos de física, sejam de nível médio ou superior, costumam abordar a matemática meramente como uma ferramenta a ser usada no contexto da física, no lugar de propiciar a imersão em seu papel estruturante do conhecimento científico, guiando o raciocínio e a interpretação sobre os conhecimentos e fenômenos naturais (Uhden et al., 2012), ou melhor, ignorando aspectos essenciais da construção da ciência.

Portanto, com o intuito de investigar a relação da matemática e a física no ensino, dando ênfase aos obstáculos enfrentados pelos estudantes do ensino médio na construção dos conhecimentos, discutimos no presente trabalho as seguintes questões:

Como o conhecimento matemático é demandado na construção dos argumentos científicos dos estudantes em aulas investigativas de física envolvendo a conservação da quantidade de movimento? Quais são as dificuldades enfrentadas pelos alunos ao longo desse processo?

Partimos da hipótese que atividades de ensino investigativas potencializam a argumentação. Inicialmente destacamos os referenciais que sustentam a ferramenta proposta e, na sequência, ensaiamos o uso dela para analisar a aplicação de uma sequência de ensino investigativa (SEI) sobre quantidade de movimento, por fim, elaboramos considerações sobre essa análise.

## **Argumentação na sala de aula**

Neste tópico apresentamos os referenciais teóricos que fundamentam a ferramenta para análise do argumento em sala de aula, que leva em consideração os critérios campo-dependentes (Toulmin, 2006) do discurso argumentativo.

Destacamos que o padrão de argumento de Toulmin (TAP) é usado nas pesquisas em educação para identificar situações argumentativas (Vieira e Nascimento, 2008, 2009; Nascimento e Vieira, 2009). Porém, há limitações importantes no seu uso, já que o padrão não considera o contexto de construção do argumento e a sua precisão, além de sua construção coletiva, por outro lado, ele permite uma visão geral da situação argumentativa e suas nuances (Vieira e Nascimento, 2008).

Aberdein (2005) reconhece as críticas ao TAP, que não possibilita acompanhar o processo de construção do argumento e que a reconstrução do padrão pode distorcer o argumento original – “o layout é perniciosamente ambíguo, criando diferentes e incompatíveis reconstruções possíveis” (p.289). A nosso ver, o padrão não permite uma visão clara da dimensão epistêmica da argumentação e dificulta o estudo do processo argumentativo em sala de aula, por isso, discutimos a seguir trabalhos que fornecem subsídios para a elaboração de um instrumento que abarque essas características.

Sasseron (2008) apresenta dois aspectos para a análise da argumentação em sala de aula. Primeiro a estrutura, na qual há o destaque para o TAP como forma de visualizar o estabelecimento de conclusões a partir da produção de argumentos. Na sala de aula esse padrão ocorrerá com o somatório de diversas contribuições, além de estruturas epistêmicas para análise mais profunda de operações argumentativas: dedução, causalidade, definição, classificação, apelo à consistência e plausibilidade. Segundo a qualidade, na qual são estabelecidos níveis crescentes conforme o número de justificativas, refutações e integração de argumentos – nota-se aqui uma ampliação dos critérios definidos por Driver et al. (2000), que estabelecem níveis crescentes segundo a quantidade de justificativas e ideias que competem.

Jiménez-Aleixandre et al. (2000) procuram estudar como produzir discursos em atividades de ensino que favoreçam o gênero argumentativo da linguagem, favorecendo a aprendizagem sobre como fazer e falar ciência. O objetivo da pesquisa está na distinção entre momentos em que se faz escola – realização de atividades sem objetivo científico e às vezes até pedagógico – e que se faz ciência – atividades em que ocorre o diálogo científico ou a argumentação, ou seja, em que se usa o raciocínio científico para defender ou justificar uma ideia em detrimento de outra na construção do conhecimento. Decorre disso a importância da resolução de problemas para a promoção da argumentação. Esses autores também destacam o TAP para avaliar argumentos em sala de aula e, como os autores supracitados, enfatizam sua insuficiência para o estudo das situações de ensino-aprendizagem, desencadeando a necessidade de compreender qual o grau de entendimento epistemológico da ciência que as atividades proporcionam, por meio da identificação operações epistêmicas (dedução; indução; causalidade; definição; o uso de analogias, exemplos, atributos e autoridade; consistência com outros conhecimentos, com a experiência, com a metafísica e a plausibilidade).

Aprofundando a discussão anterior, Jiménez-Aleixandre e Bustamante (2003) mostram que é necessário direcionar as atenções à natureza dos enunciados e sua função no discurso, dando ênfase nas formas como se constroem as explicações

nas aulas. Os autores definem ainda algumas operações que podem ser identificadas nos enunciados discursivos argumentativos na sala de aula, que estão relacionadas à construção do conhecimento – chamadas de epistêmicas –, e outras de exibição procedimental – denominadas de cultura escolar. Para a primeira classificação apresentam-se os seguintes exemplos: “[...] procedimentos explicativos, definições, classificações, relações causais, apelo a analogias ou comparações, ou construção de dados” (Jiménez-Aleixandre e Bustamante, 2003. p.366). Elas costumam aparecer bastante em atividades de laboratório e são usadas para determinar os passos para transformar dados em explicações teóricas, o que é útil para estimar o progresso dos estudantes. Na segunda classificação encontram-se tarefas burocráticas rotineiras da sala de aula, como realizar uma lição sem refletir sobre o conteúdo para receber uma nota adequada.

Na mesma linha, Sasseron e Carvalho (2011b) evidenciam a importância das propostas investigativas que envolvem resolução de problemas, como forma de promoção da argumentação e da aprendizagem que compreenda uma visão coerente do trabalho científico. Neste sentido, são importantes os trabalhos baseados na perspectiva da Alfabetização Científica (AC), que as autoras classificam em três eixos estruturantes fundamentados em ampla literatura:

[...] a compreensão básica de conceitos científicos, a compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática e o entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente (Sasseron e Carvalho, op. cit. p.5).

Para observar esses eixos e o processo de AC, Sasseron e Carvalho (op. cit.) apresentam os chamados indicadores de Alfabetização Científica, que representam ações e habilidades utilizadas na medida em que se resolve um problema, são eles: levantamento e teste de hipóteses; seriação, classificação e organização de informações; explicação; justificativa, previsão, raciocínio lógico e proporcional. A partir do estudo de situações de ensino-aprendizagem com esse referencial, as autoras verificam que as ideias dos estudantes extrapolam a atividade de ensino para novas situações, ficando clara a existência de um ciclo argumentativo, definido como: “[...] a forma por meio da qual as argumentações se desencadeiam e a maneira como as relações entre diferentes dados e variáveis são estabelecidas” (p.13). Ele possui os seguintes passos não consecutivos:

- 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.

Vale destacar que, do nosso ponto de vista, os indicadores de alfabetização científica apresentam similaridades com as operações epistêmicas citadas por Jiménez-Aleixandre et al. (2000) e Jiménez-Aleixandre e Bustamante (2003).

Mais recentemente, uma ferramenta que procura englobar os diferentes aspectos da argumentação, sistematizando os diferentes resultados das pesquisas sobre o tema é apresentada por Sampson et al. (2012). Segundo os autores, a argumen-

tação constitui a essência das práticas de construção, avaliação e validação do conhecimento científico, porém poucos estudantes têm oportunidade de ensaiar o uso desse discurso, o que levou à elaboração de várias propostas que tentam sanar esse problema. Por outro lado, ainda persistem as dificuldades de avaliar a natureza ou qualidade e a evolução da argumentação científica dos estudantes, realizadas nas pesquisas ao gravar, filmar, transcrever e codificar aulas para analisar a natureza e a função das diferentes contribuições. Eles destacam ainda que nos últimos anos muitos estudos focaram a estrutura geral dos argumentos, as suas justificações, a validade de suas conclusões e a sua adequação epistemológica. Por outro lado, existem poucas propostas para investigar os processos sociais e as práticas envolvidos na produção dos argumentos.

A partir das referências apresentadas é notável a influência do TAP nas pesquisas como forma de delimitar situações argumentativas, nas quais há justificação do conhecimento, explicitando o raciocínio dos estudantes e, por outro lado, a necessidade do uso de outras ferramentas para estudar as características campo-dependentes da argumentação, representadas pelas operações epistêmicas e os indicadores de alfabetização científica. Dessa forma, ao construir um instrumento de análise para o nosso objeto de estudo é importante sistematizar o que os pesquisadores definem como argumentação científica ou campo-dependente na nomenclatura de Toulmin (2006).

Nesse sentido, ao comparar esses referenciais, observamos que algumas categorias são próximas, senão similares, ou seja, raciocínio lógico e proporcional e causalidade; procedimentos explicativos e explicação; justificativa e uso de definição, apelo à analogia ou comparações, exemplos, atributos, consistência com outros conhecimentos (incluindo a experiência e a metafísica) e plausibilidade.

Com essa análise destacamos os seguintes componentes do processo de argumentação envolvendo elementos campo-dependentes no contexto da ciência: levantamento e teste de hipóteses; seriação, classificação e organização de informações; explicação; justificativa, previsão, dedução; indução, raciocínio lógico e proporcional. Ressaltamos que a categoria justificativa engloba uso de definição, apelo à analogia ou comparações, exemplos, atributos, consistência com outros conhecimentos (incluindo a experiência e a metafísica) e plausibilidade. Além disso, temos por hipótese que diferentes componentes ocorrerão em sala de aula em momentos distintos do ciclo argumentativo, que é desencadeado a partir de atividades investigativas.

Além disso, para uma caracterização mais precisa da argumentação – abrangendo os seus aspectos matemáticos – é necessário incluir o raciocínio abduativo, como uma das etapas da construção do conhecimento. Pierce (2012) tratou a abdução como um dos três tipos de raciocínios científicos – indutivo, dedutivo e abduativo:

Na ciência, há três espécies fundamentalmente diferentes de raciocínio: Dedução [...], Indução [...] e Retrodução<sup>1</sup> [...] (p.5).

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

O autor ainda destaca que:

---

1 Pierce no início de sua obra usa a palavra retrodução no lugar de abdução.

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. 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 (p.220, grifos nossos).

Rahman (2007) define abdução como o processo de construção de hipóteses explanatórias e como uma operação lógica que introduz uma ideia nova. Trata-se de uma inferência sobre algo e a aceitação provisória de uma hipótese explanatória com o intuito de testá-la. Nem sempre essa inferência é a melhor explicação, porém ela explica ou ao menos esclarece alguma informação surpreendente ou anômala e, para que isso ocorra, é necessária uma revisão de nossas concepções em um caminho plausível e racional. Ao nosso ver, em sala de aula, esse último processo destaca o papel fundamental do professor como mediador entre conhecimento científico e ideias em destaque, na revisão dos entendimentos produzidos ao longo das atividades de ensino.

Temos por hipótese que a abdução deve aparecer no processo de levantamento e teste de hipóteses, e ainda, que as refutações são importantes no estabelecimento das condições de consistência e plausibilidade do conteúdo científico, já que elas indicam os limites de uma alegação. Assim, esses elementos encontram-se na justificativa do conhecimento produzido em sala de aula.

## **Uma ferramenta para análise da argumentação científica em sala de aula**

Os referenciais apresentados anteriormente discutem maneiras para análise da argumentação, muitos deles partem do padrão de Toulmin e outros buscam englobar elementos que esse último não dá conta, tal como as operações epistêmicas, que envolvem as características campo-dependentes do argumento. Além disso, existe um esforço dos pesquisadores em considerar os critérios de validação do conhecimento científico, o que abarca uma consideração da sua qualidade. A seguir, aprofundamos essas discussões, a partir da sistematização de trabalhos que fazem uma revisão crítica desses referenciais (ABERDEIN, 2005; Erduran, 2007; MacDonald e Kelly, 2012; Sampson e Clark, 2006; Sandoval e Millwood, 2007), com o intuito de obter elementos que sustentem nossa ferramenta para análise da argumentação em sala de aula.

Sandoval e Millwood (2007) destacam que há várias pesquisas que analisam as argumentações orais dos estudantes em ambientes investigativos ou de resolução de problemas. Os principais movimentos epistêmicos desencadeados nos alunos são: uso de alegações sem apresentar justificativas explícitas ou que costumam ser justificadas somente quando desafiadas; alegações que são oferecidas geralmente sem relação com os outros elementos do argumento em desenvolvimento; uso de várias formas de garantias, incluindo evidências experimentais e teóricas. Na avaliação dos argumentos científicos escritos, que são muito parecidos com os orais, os pesquisadores verificaram o fracasso dos estudantes, porém essa prática auxilia no entendimento de ideias importantes da ciência. Os autores propõem



as práticas epistêmicas como uma forma de os estudantes desenvolverem ideias epistemológicas altamente contextualizadas, a partir de experiências práticas para entender e explicar o mundo em que vivem. Isso é desencadeado por meio da explicação de novas situações – nesse ponto acreditamos que os raciocínios abducativos são essenciais.

Em uma abrangente revisão de literatura, Erduran (2007) pontua que o principal desafio nos estudos que versam sobre argumentação está na metodologia de pesquisa. Seu objetivo é garantir validade às ferramentas metodológicas de análise do argumento, explicitando sua natureza e função. Como critério para definir e delimitar as fronteiras de análise da argumentação na sala de aula, esses estudos estão focados na análise de evidências e justificações, nas práticas e critérios epistêmicos, na argumentação e a natureza dos argumentos e na participação em discussões. Ela também ressalta alguns desafios no estudo da argumentação na sala de aula, dos quais destacamos a necessidade de novas ferramentas para analisar o ensino, com o intuito de gerar um modelo pedagógico mais efetivo, e estender a análise da argumentação do contexto verbal para o multimodal.

Similarmente à pesquisa de Erduran (2007), Sampson e Clark (2006) fazem uma revisão dos principais quadros teóricos para análise dos argumentos retóricos no ensino de ciências visando esclarecer a lógica e as premissas desse campo, suas limitações e possibilidades e apontar novos caminhos. Segundo os autores, a argumentação surge no processo de investigação científica, na qual se reduz o mundo à ordem, que toma a forma de explicações testadas e desenvolvidas em um processo de observação e de identificação de padrões em dados. Nesse processo, deve-se ficar atento aos critérios epistemológicos que definem o que conta ou não como garantia. Eles reconhecem as limitações do referencial de Toulmin aplicado ao ensino de ciências, enfatizando que essa ferramenta não permite observar a qualidade do argumento em termos de como ou se as ideias conceituais dos alunos influenciam na relação que eles desenvolvem entre teoria e evidência na construção de um argumento (o que depende de critérios campo-dependentes) – não permitindo saber o quanto os argumentos dos discentes aderem aos critérios compartilhados pela comunidade científica para avaliar a qualidade dos mesmos e, portanto, verificar o raciocínio usado na construção do argumento. Pouco foi feito nessa direção, dessa forma, eles apontam cinco critérios para avaliar argumentos científicos de alta qualidade:

1. Examinar a natureza e a qualidade da alegação de conhecimento: alegações são conclusões exploratórias ou referenciais descritivos, os quais os cientistas tentam generalizar. Assim, a ciência trata de criar e testar referenciais e teorias, o que destaca a importância de analisar o tipo de alegação produzida por estudantes no processo de investigação, verificando a qualidade desse argumento em relação ao conhecimento científico, revelando seus entendimentos sobre como coordenar afirmações com as evidências disponíveis.
2. Examinar como (ou se) a alegação é justificada: sendo a evidência empírica importante para avaliar a validade das afirmações, deve-se ponderar o seu papel nos argumentos dos estudantes, além dos tipos de evidência que justificam um argumento e como a evidência é interpretada em termos dos referenciais aceitos pela comunidade.
3. Examinar se a alegação se refere a todas as evidências disponíveis: os cientistas constroem argumentos para as conjecturas que melhor explicam um

fenômeno, amparados pelas evidências disponíveis ou obtendo novas, quando não há evidências suficientes.

4. Examinar como (ou se) o argumento procura desconsiderar alternativas: explicações alternativas são comuns na ciência e os argumentos em favor de uma delas podem não ser totalmente convincentes em virtude das evidências disponíveis. Pode-se usar os seguintes critérios: “(a) a capacidade da alegação dar conta de todas as observações relativas ao fenômeno, (b) a sua utilidade na previsão do comportamento do fenômeno, e (c) a consistência da alegação com outro conhecimento aceito sobre como o mundo funciona” (Driver et al., 2000; Passmore e Stewart, 2002 apud Sampson e Clark, op. cit., p.660).
5. Examinar como as referências epistemológicas são usadas para coordenar alegações e evidências: além de justificar as ideias com evidências, os alunos devem avaliar se suas evidências foram coletadas e interpretadas pelas normas da comunidade científica.

De forma similar, MacDonald e Kelly (2012) ressaltam que a ênfase somente no discurso argumentativo dos estudantes, ignora características importantes das práticas da comunidade científica que devem ser aprendidas, ou seja, limita o desenvolvimento da compreensão das formas que os cientistas trabalham em sua comunidade e a construção de um apoio ao desenvolvimento de normas e práticas produtivas em comunidades de aprendizagem de ciência. Por meio de exemplos de situações em sala de aula, os autores mostram as limitações da análise dos argumentos em episódios com baixa qualidade do argumento e sua estrutura, porém com grande potencialidade em termos do “fazer científico”. Ainda, é explícita a limitação da análise somente em termos da linguagem oral, destacando-se a necessidade de se considerar as conexões das diferentes representações – ponto similar ao destacado por Erduran (2007). Destacamos aqui que ferramenta de análise que propomos a seguir, para o estudo das características campo-dependentes da argumentação científica em sala de aula, ou as práticas epistêmicas envolvidas na construção dos argumentos dos estudantes, visa preencher essas lacunas que esses autores pontuam em suas pesquisas ao abranger o papel das diferentes representações no processo de aprendizagem e, ao mesmo tempo, dando conta de acompanhar esse fazer científico em sala de aula.

Além disso, para MacDonald e Kelly (2012) a aprendizagem conceitual precisa extrapolar as formas canônicas de apresentar os conceitos, incluindo as dimensões conceituais, epistêmicas e sociais da teoria – consideração que se assemelha aos eixos estruturantes da alfabetização científica sistematizados por Sasseron e Carvalho (2011b). Também é importante conhecer como as provas são validadas na ciência e o que conta como um bom argumento, assim, a argumentação constitui uma parte do suporte à aprendizagem, mas não é única.

Vale pontuar, que os autores acima enfatizam as dificuldades metodológicas de se analisar a argumentação em sala de aula. Grande parte delas compreende dificuldades inerentes do uso do TAP, que foi idealizado como uma estrutura geral para análise de um argumento logicamente válido e que não foi concebido para o estudo do argumento em construção. Por outro lado, encontramos no contexto do ensino de ciências, no qual as características da ciência são fundamentais na construção do discurso argumentativo, portanto, os autores procuram delimitar quais são esses conhecimentos a serem incluídos nesse processo. Emerge desse panorama, a necessidade de coordenar alegações e evidências usan-

do as referências epistemológicas da ciência tanto no ensino como na sua análise, situação na qual pode ser útil a classificação que sugerimos anteriormente.

Nesse sentido há vários pontos comuns entre os autores que permitem avaliar a qualidade de um argumento no contexto do ensino de ciências e que podemos considerar neste trabalho. Essas similaridades estão explícitas nos artigos de Sandoval e Milwood (2007) e Sampson e Clark (2006), também refletem a forma como a aprendizagem conceitual deve considerar como as provas são validadas (MacDonald e Kelly, 2012), e, ainda, podem ser usadas para julgar a qualidade da argumentação na sala de aula, extrapolando o número de justificativas para indicar essa qualidade apresentado nos trabalhos de Driver et al. (2000), Jiménez-Aleixandre e Bustamante (2003) e Sasseron (2008). Abaixo esboçamos uma proposta de categorias baseadas nesses trabalhos:

Categorias de análise da qualidade da argumentação	Sandoval e Milwood (2007)	Sampson e Clark (2006)
1 – Formas para coordenação entre alegações e evidências	Uso de alegações sem apresentar justificativas explícitas, alegações justificadas somente quando desafiadas, alegações oferecidas sem relação com os outros elementos do argumento em desenvolvimento.	Examinar a natureza e a qualidade da alegação de conhecimento; examinar como (ou se) a alegação é justificada; examinar se a alegação se refere a todas as evidências disponíveis; examinar como (ou se) o argumento procura desconsiderar alternativas.
2 – Conteúdos para coordenação entre alegações e evidências	Uso de várias formas de garantias, incluindo evidências experimentais e teóricas.	Examinar como as referências epistemológicas são usadas para coordenar alegações e evidências.

Quadro 1. Elementos para análise da qualidade da argumentação.

Na categoria 1, reunimos as práticas que envolvem as formas de ocorrência da argumentação científica, ou seja, ela permite avaliar como as alegações são respaldadas por 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.

Dentro da categoria 2, agrupamos as práticas de justificação que remetem aos conteúdos da argumentação científica (leis, teorias e evidências experimentais), envolvendo os critérios campo-dependentes dessa prática discutidos previamente.

Destacamos ainda a necessidade de se refletir sobre as linguagens por meio do qual se apresentam os conhecimentos científicos tanto na categoria 1, quanto na categoria 2, ou seja, durante a argumentação científica na sala de aula há necessidade de se expressar principalmente por meio das linguagens – ou modos de comunicação – verbal, escrita, gestual, visual (desenhos, esquemas e tabela), gráfica e algébrica.

Isso remete aos limites metodológicos apresentados por Erduran (2007) e que tem relação com os objetivos da presente pesquisa: estender a análise da argumentação do contexto verbal para o multimodal. Esse tipo de análise da argumentação parte do pressuposto de que o discurso científico no contexto de pesquisa e na sala de aula é constituído a partir de várias formas de representações simbólicas ou linguagens (Lemke, 1998a), e a construção do argumento

científico só será completa ao considerá-las (Erduran, op. cit.). O uso conjunto das linguagens possibilita construir novos significados que não seriam possíveis com a utilização separada delas (Lemke, op. cit.), e esse processo ocorre de duas maneiras (Marquez et. al., 2003; Bellucco e Carvalho, 2009): cooperação, quando duas ou mais linguagens reforçam um mesmo significado; e especialização, quando duas ou mais linguagens atribuem um significado para um conceito ou fenômeno, realizando funções distintas, como em um gráfico mostrando como foi o aumento de temperatura de um gás destacado pela linguagem oral do docente.

É importante enfatizar ainda que os diferentes trabalhos mostram que as atividades investigativas propiciam situações argumentativas. Isso é essencial, já que analisaremos situações de ensino-aprendizagem que favorecem os estudantes a argumentarem. Em outras palavras, não adianta construir um instrumento de análise com as características propostas, se as condições de ensino estudadas não foram planejadas para que os alunos apresentem alegações, justificando-as ou refutando-as.

Também somos favoráveis às críticas de MacDonald e Kelly (2012) aos trabalhos que versam sobre a argumentação – levamos em conta a necessidade da inclusão das dimensões conceituais, epistêmicas e sociais do conteúdo no delineamento das atividades de ensino que analisaremos. As pesquisas têm apontado para a consideração dessas dimensões em atividades investigativas, conforme destaca Duschl (2008). Essas dimensões podem ainda serem discutidas a partir das categorias propostas no quadro 1 acima, que envolvem as formas para coordenar alegações e evidências (dimensão social) e os conteúdos para coordenar alegações e evidências (dimensão conceitual e epistêmica). A figura 1 abaixo resume a ferramenta que desenvolvemos a partir da ponderação dos referenciais debatidos anteriormente.

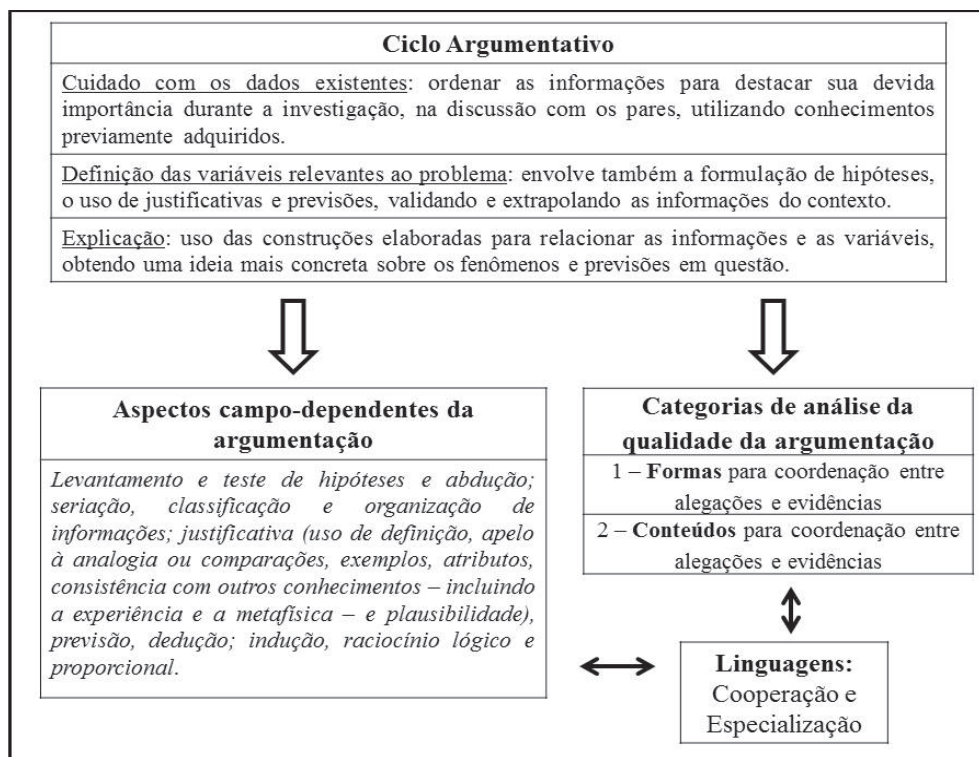


Figura 1. Análise da argumentação campo-dependente.

## Metodologia

A ferramenta da figura 1 foi usada para estudar alunos de uma turma do primeiro ano do ensino médio argumentando sobre fenômenos que envolvem a conservação da quantidade de movimento, ao longo de uma sequência de ensino investigativa. Essa SEI, elaborada por Bellucco e Carvalho (2014), foi ministrada no primeiro semestre de 2013, em uma escola estadual localizada no município de Garuva, no estado de Santa Catarina, que atende aos níveis de ensino fundamental e médio, totalizando em torno de 1000 alunos. O público desse estabelecimento engloba majoritariamente alunos de classe baixa de regiões urbanas e rurais dos arredores da cidade e de cidades vizinhas e, ainda, alguns alunos indígenas residentes em uma aldeia localizada nas imediações da comunidade.

O professor colaborador, que ministrou a SEI, é licenciado em física e possui quinze anos de experiência no magistério. Sendo um profissional que trabalha com metodologias não usuais, tais como uso de problemas abertos e portfólios de aprendizagem. Além disso, ele foi bastante receptivo à discussão sobre o trabalho a ser desenvolvido, realizando reuniões periódicas com o pesquisador antes da regência das aulas, nas quais eram debatidas as atividades da SEI e a metodologia envolvida. Durante a aplicação das aulas, continuamos os encontros de forma um pouco mais espaçada, nos quais debatemos novas atividades e as gravações em vídeo das aulas, em termos das ações do professor que favoreceram os alunos a argumentarem.

A sequência didática inicia-se com um problema experimental, que pede para que se colidam pêndulos de massas visivelmente diferentes, de forma que eles sempre subam até a mesma altura (figura 2), com o intuito de estimular a percepção crítica da dependência das massas e das velocidades nas colisões. Na sequência, há discussão de questões abertas, que são a base para a teorização dos conceitos de quantidade de movimento e sua conservação, seguida da proposição de problemas abertos (boa parte deles foram acrescentados à SEI pelo professor colaborador).

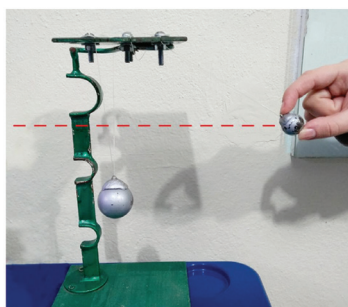


Figura 2. Pêndulos de massas diferentes.

Toda a sequência foi gravada em áudio e em vídeo. Nas atividades em grupo registramos os dados brutos sempre do mesmo grupo, que foi selecionado pelo professor da turma por ser constituído de alunos representativos do perfil da turma na qual a SEI foi ministrada. Ao longo desse processo de registro foram identificados episódios de ensino, selecionados pela ocorrência simultânea da argumentação dos alunos e pelo uso da linguagem matemática. A argumentação foi identificada pelo uso de justificativas explícitas ou implícitas nos diálogos entre os estudantes e, também, pela observação da ocorrência do ciclo argumentativo de Sasseron e Carvalho (2011b). Mapeamos os seguintes episódios ao longo da aplicação da SEI:

Aulas -Datas	Atividades	Episódios
1 e 2 - 03/05/13	Pêndulo de Newton, questões abertas e problema fechado	1 – Quem tem maior quantidade de movimento?
3 e 4 - 10/05/13	Leitura e discussão do texto de sistematização, resolução de exemplo de problema aberto pelo professor e resolução dos problemas da SEI	2 – Problemas abertos (atividade 3 da SEI) 3 – Discussão coletiva sobre os problemas abertos
5 e 6 - 24/05/13	Continuação da resolução dos problemas abertos da SEI	Falha na captação do áudio. 4 - Problemas abertos sobre colisões inelásticas
7 e 8 - 07/06/13	Problemas abertos sobre colisões inelásticas	5 – Interpretação dos resultados matemáticos 6 – O problema aberto dos astronautas

**Quadro 2.** Episódios mapeados na SEI envolvendo argumentação.

Neste trabalho apresentamos fragmentos de dois episódios ilustrativos, que permitem discutir as questões propostas na introdução do trabalho: Episódio 1 - Quem tem maior quantidade de movimento? Um problema fechado; e Episódio 6 - O problema aberto dos astronautas. No tópico a seguir, apresentamos as transcrições<sup>2</sup> de trechos desses dois episódios significativos identificados na SEI, com o objetivo de tornar visíveis os aspectos da ferramenta que construímos. O primeiro episódio se encontra no início das aulas, quando os alunos estavam próximos dos fenômenos discutidos por meio da atividade experimental e exemplos do cotidiano, e o outro quando eles se envolveram no processo de resolução de problemas abertos.

Dividimos as transcrições em quadros, contendo uma cena ou trecho de um episódio de ensino, nos quais dividimos em uma coluna com o tempo decorrido da aula; outra com a transcrição da linguagem oral e das outras linguagens e ações entre parênteses duplos; e outra com os elementos do ciclo argumentativo e as características campo-dependentes da argumentação identificados no trecho. Apresentamos apenas as cenas mais significativas de cada episódio, que melhor favorecem a discussão de nossas questões de pesquisa.

Comentamos cada cena a partir das categorias sobre a argumentação encontradas e, depois, sistematizamos todo o episódio por meio de uma discussão sobre sua qualidade argumentativa, em termos de sua forma e seu conteúdo, o que possibilita uma discussão sobre o conteúdo matemático demandado nas argumentações dos estudantes.

2 O Nome do professor foi substituído por P e dos alunos por A1, A2, A3 etc. As normas de transcrição foram adaptadas de Preti (1997):  
 () para hipóteses do que se ouviu;  
 (( )) para a inserção de comentários;  
 :: para indicar prolongamento de vogal ou consoante, por exemplo: “éh:::”;  
 / para indicar truncamento de palavras; por exemplo: “o pro/ ... o procedimento...”;  
 - para silabação, por exemplo: “di-la-ta-ção”;  
 Letras maiúsculas para entonação enfática;  
 /// para indicar falas simultâneas, já que elas são comuns no trabalho em pequenos grupos.

## Episódio 1 – quem tem maior quantidade de movimento?

Esse episódio ocorreu no final da primeira aula dupla da SEI, após a resolução do problema experimental com os pêndulos (atividade 1) e de questões abertas sobre colisões de automóveis e caminhões (atividade 2). O professor sistematizou e ditou a definição do conceito de quantidade de movimento (a aula foi realizada no pátio da escola), e forneceu um problema fechado com dados numéricos para que os grupos de alunos o resolvessem:

[...] Agora vamos ao nosso imaginário, do lado esquerdo vocês vão desenhar um caminhão igual este da folhinha, coloquem aí a massa do caminhão “5.000kg” e coloquem a velocidade do caminhão “5m/s”. Agora do lado oposto vocês vão desenhar um carrinho pequeno, de frente para o caminhão, a massa do carro “1.000kg” e coloquem a velocidade do carro “25m/s”. Agora a pergunta: qual dos carros possui a maior quantidade de movimento antes da colisão?

Apresentamos a seguir parte da discussão desse grupo sobre a resolução do problema apresentado pelo professor, na cena 1, que trata de um carro e um caminhão que se movimentam em linha reta, um de encontro ao outro. Deseja-se saber qual dos dois tem maior quantidade de movimento (na verdade elas são iguais, pois a maior massa do caminhão é compensada pela grande velocidade do carro). Vale ressaltar, que apesar de ser um problema fechado, a discussão sobre como obter os resultados possibilitou uma ampla reflexão incluindo momentos de argumentação, como pode ser observado abaixo.

Tempo	Transcrição, Descrição das ações e linguagens	Ciclo Argumentativo
	A2 ((falando só para os colegas)): Nós aqui é o carro... nós é o carro.	Definição de variáveis Explicação
	A11: Os dois é a mesma. A9: Os dois é a mesma.	
01:09:55 - 01:10:15	A6 - É A MESMA os dois... porque cinco dividido... vinte e cinco dividido por cinco é cinco. P: Vamos lá? Rapidão... A2: É a mesma. A6: É o mesmo. Aluno de outro grupo falando para A6: Quantidade de movimento depende de massa e de velocidade... um tem maior massa e o outro tem maior velocidade.	Argumentação  Previsão Abdução Justificativa Raciocínio lógico e proporcional

Quadro 3. Cena 1.2.

Alguns alunos (“Os dois é a mesma”, “É a mesma” e “É o mesmo”) preveem que os dois carros possuem a mesma quantidade de movimento, por meio da cooperação entre a linguagem escrita (problema escrito no caderno) e a fala. Ocorre assim a definição de variáveis relevantes ao problema (também por estabelecer a relação da massa e da velocidade dos carros com o fenômeno).

O aluno 6 apresenta um conhecimento especializado pela linguagem algébrica, realizando uma abdução (evoca a hipótese da operação de divisão para explicar o fenômeno), ou seja, como justificativa destaca a proporcionalidade entre velocidades – deixando implícita a proporcionalidade das massas (“É MESMA os dois... porque 5 dividido... 25 dividido por 5 é 5”).





## Resumo do episódio 1

Ao longo do ciclo argumentativo, a definição de variáveis foi essencial para estabelecer a explicação, durante o episódio. Ressaltamos que a etapa de cuidado com os dados foi dada pelo professor ao apresentar o problema fechado.

Ocorreu ainda um movimento intenso das características campo-dependentes da argumentação científica, no qual a linguagem algébrica esteve bastante presente durante o processo dedutivo (o que é esperado para esse tipo de situação – resolução de problemas), trazendo significados novos (especialização), ou seja, a quantidade de movimento é a mesma, e justificando as afirmações.

A abdução realizada também esteve acompanhada da especialização dos significados por meio da linguagem algébrica – os estudantes percebem a proporcionalidade entre os valores de massa e velocidade do problema, mas não associam isso diretamente à equação da quantidade de movimento. Nossa hipótese é que o professor passou muito rápido pela equação (vale destacar que ela foi apresentada oralmente, ou melhor, como a atividade foi feita no pátio, ou melhor, o docente não dispunha de outros recursos para introduzir os conceitos e suas representações), deixando um ‘abismo’ entre a representação algébrica e o fenômeno. Dessa forma, ao resolverem o problema, os alunos apresentam dificuldade de relacionar a equação com a quantidade de movimento do carro e do caminhão, apesar de deixarem claro que a grande massa do caminhão é compensada por sua baixa velocidade, e que a grande velocidade do carro é compensada por sua massa menor, resultando em quantidades de movimento iguais.

Quanto à qualidade argumentativa do episódio observamos que ao longo das cenas 1.2 e 1.3, a regra de divisão, evocando a proporcionalidade entre as variáveis, é usada pelo aluno 6 para justificar a explicação. Um raciocínio proporcional envolvendo os conceitos de massa é corretamente usado por um aluno de outro grupo e pelos alunos 1 e 6 para justificar o resultado, refutando as ideias dos alunos 2 e 5 por meio de conceitos científicos. Durante a cena 1.7, a aluna 7 vale-se de um raciocínio proporcional para justificar o resultado do problema. Portanto, em relação a forma para coordenar alegações e evidências, os alunos apresentaram justificativas para suas alegações sem precisarem ser desafiados (Sandoval e Milwood, 2007) e apresentam refutações com base nos conceitos em evidência (Sampson e Clark, 2006), o que indica uma boa qualidade argumentativa. Porém, a alegação da aluna 3 na cena 1.5, usando do conceito de velocidade média para justificar a conta, é oferecida sem relação com os outros elementos do argumento em desenvolvimento, o que reduz a qualidade argumentativa segundo Sandoval e Milwood (op. cit.).

Quanto aos conteúdos para coordenar alegações e evidências, os conceitos de massa e velocidade, amparados por raciocínios lógicos e proporcionais, foram essenciais para respaldar/justificar a conclusão de que as quantidades de movimento são iguais. Por outro lado, houve o uso, pela aluna 3, do conceito de velocidade média para amparar o resultado. Esses fatos indicam uma compreensão conceitual parcial, na qual há uma desconexão entre fenômenos e representação matemática, havendo a necessidade de um trabalho específico na construção dessa relação. Portanto, julgamos a qualidade argumentativa desse episódio como boa. Vale ressaltar, que nas aulas seguintes o docente não retomou as explicações construídas pelos estudantes durante esse episódio, em um processo de revisão racional dos raciocínios desenvolvidos.

## Episódio 6 - o problema aberto dos astronautas

Nesse episódio, após o fechamento de outros problemas abertos, o professor introduziu um novo problema aberto, elaborado por ele, para que os alunos resolvessem em pequenos grupos. O docente entregou aos estudantes uma folha com o seguinte problema: “Dois astronautas, A e B, encontram-se livres na parte externa de uma estação espacial. Qual será a velocidade do astronauta após agarrar o tanque?”. Com o problema, havia uma imagem de um astronauta jogando um tanque de combustível para o outro.

Apresentamos a seguir parte da discussão do grupo de análise, no início do episódio o grupo toma cuidado com os dados e inicia a definição das variáveis relevantes. Na sequência, eles procuram modelar o problema enquanto seriam, classificam e organizam os dados, com o auxílio cooperativo do desenho.

Tempo	Transcrição, Descrição das ações e linguagens	Ciclo Argumentativo
	[...] A6: Ah... então vou colocar... aqui cinco. A2: Pode usar o mesmo peso? P: Oi? A2: Pode usar o mesmo peso? P: Tu vai hipotetizar... as tuas hipóteses tu que vai colocar. ((professor vai atender outro grupo)).	Cuidado com os dados Definição das variáveis relevantes ao problema
00:44:40 - 00:46:20	A6: Não... vamos fazer assim então óh... vamos fazer assim óh... aqui nós colocamos cinco e aqui dez. A2: Então ta feito aqui cara... se for fazer que nem um desse aqui ((aponta para o caderno)). A6: Não... é para a gente fazer assim... não é pra nós copiar... né oh:: ((desdenhando o colega)). A2: Tipo... é modelo. A6: Capaz. A2: É modelo. A6: Vamos fazer assim... esse aqui é de/... esse daqui é cinco e esse é dez.	Argumentação  Serição Classificação e organização dos dados Justificativa

Quadro 5. Cena 6.3.

O aluno 2 entende que modelar é copiar o problema modelo que está na lousa (“Então ta feito aqui cara... se for fazer que nem um desse aqui” e “Tipo... é modelo”). Apesar do aluno 6 discordar da justificativa do seu amigo, eles seguem copiando o modelo de resolução anterior (“Não... é para a gente fazer assim... não é pra nós copiar... né oh::”).

Na sequência, o aluno 6 estima valores de velocidade, ignorando a indicação do professor de que os astronautas estavam parados (“Vamos fazer assim... esse aqui é de/... esse daqui é cinco e esse é dez”). Aqui fica claro que eles não se apropriaram do modelo de resolução, pois fazem uma cópia acrítica, e que não relacionam fenômenos e representações, já que não refletem se os valores estimados são coerentes. Essa situação se repete nos minutos seguintes, resultando em uma explicação “mecânica” ou um momento de ‘fazer lição’ como mencionado na pesquisa de Jiménez-Aleixandre *et al.* (2000).

Tempo	Transcrição, Descrição das ações e linguagens	Ciclo Argumentativo
00:52:30 - 00:53:40	A2: Vai dar três metros por segundo cara... A6: O professor apagou o quadro ((incomodado)). A2: Tem aqui óh ((aponta para a própria folha))... a primeira inteirinha... vai dá... se copiar... ta com os mesmos números... olha aqui óh ((aponta para a folha de A6))... tá com o mesmo peso e a mesma velocidade... olha... vai dar:: treze/... vai dar três segun:: três metros por segundo.	Explicação Definição das variáveis relevantes ao problema
	A1: Dá a mesma resposta que o primeiro? A2: É... mesma conta. A1: Traduzindo... tu pegou e... botou a primeira na um. A2 ((afirmando com a cabeça)): Mais ou menos... eu não né? É nós...[...]	Argumentação Classificação e organização dos dados Justificativa Dedução

Quadro 6. Cena 6.7

Nesta cena, os alunos 1 e 2 refletem sobre a modelização realizada que foi similar ao problema anterior (“Traduzindo... tu pegou e botou a primeira na um” e “Que botamos o mesmo peso e o mesmo valor.”), que serviu de justificativa para as contas realizadas sem a compreensão de seu significado físico.

Dessa forma, o grupo finaliza a modelização por meio da cópia do problema modelo (classificação e organização dos dados no processo de definição das variáveis relevantes ao problema), mantendo inclusive os mesmos valores. As falas do aluno 2 ilustram bem a aceitação desses procedimentos pelo grupo: “eu não né? É nós...” e “Que botamos o mesmo peso e o mesmo valor”. Nesse contexto, a linguagem escrita, a algébrica e os gestos especializam a explicação.

A seguir, os alunos continuam escrevendo nos seus cadernos e o professor inicia a discussão no grande grupo, que fica incompleta e continua na próxima aula.

## Resumo do episódio 6

Ao resolver um problema, os estudantes permanecem boa parte do tempo seriando, classificando e organizando as informações, passando pelas etapas de cuidado com os dados e de definição de variáveis simultaneamente.

É importante frisar que as diferentes linguagens foram fundamentais para que esse contexto se desenvolvesse, predominando e cooperando por todo o episódio. Além disso, elas foram importantes no estabelecimento das justificativas e, logicamente, na dedução que levou à especialização da explicação.

É interessante notar a ocorrência completa do ciclo argumentativo e de diversas características campo-dependentes da argumentação, no que garante a qualidade argumentativa.

Quando observamos a forma como foram coordenadas as alegações e evidências nesse episódio, verificamos: justificativas implícitas (cena 6.2), outras que se valem da autoridade de um exemplo (cenas 6.3, 6.5 e 6.7), além de momentos nos quais os estudantes não conseguem justificar suas alegações (como na cena 6.4, em que o aluno 6 impõe sua opinião pelo tom de voz e na cena 6.6, na qual os alunos não justificam suas hipóteses sobre a direção e o sentido de movimento). Dessa forma, temos uma baixa qualidade tanto pelo referencial de Sandoval e Milwood (2007) quanto pelo de Sampson e Clark (2006).

Refletindo sobre os conteúdos para coordenar alegações e evidências, as justificativas foram baseadas no senso comum (como na cena 6.2, em que o aluno 6 justifica a velocidade implicitamente pela ausência de atrito no espaço) e se valeiram, de forma acrítica, de um problema modelo (cenas 6.3, 6.5 e 6.7) – tal como pode ser evidenciado na fala do aluno 2 na cena 6.3, que entende que modelar é copiar. Isso também caracteriza uma argumentação pobre segundo o referencial supracitado.

Sendo assim, tendo em vista o conteúdo matemático demandado na construção dos argumentos científicos dos estudantes, verificamos que eles elaboram uma explicação ‘mecânica’, ou seja, para eles é importante chegar a um número (eles não consideraram as explicações do professor nos episódios anteriores sobre a importância da análise do problema), e não voltaram ao fenômeno no fim da dedução. Essa situação fica explícita na cena 6.5, na qual o aluno 6 estabelece o valor absurdo de vinte quilogramas para a massa do astronauta.

Dessa forma, o grupo aparentemente resolve o problema ‘burocraticamente’, aproximando-se do que Jiménez-Aleixandre et al. (2000) definem como ‘fazer lição’. Eles procuram um modelo para reproduzir, não refletindo sobre a dedução realizada. Nossa hipótese para essa situação é que, durante as resoluções dos problemas abertos, não houve uma apresentação e retomada dos processos e raciocínios dos grupos de estudantes – discutimos essa questão à seguir.

## Considerações finais

Ao longo deste trabalho destacamos a dimensão epistemológica ou campo-dependente da argumentação em sala de aula, por meio da proposição de um instrumento que favorece a compreensão do processo argumentativo em aulas de física. Procuramos investigar com essa ferramenta como se apresentam, em uma sequência de ensino investigativa, os conhecimentos matemáticos para construção dos argumentos de estudantes de ensino médio, sobre fenômenos que envolvem a conservação da quantidade de movimento e os obstáculos enfrentados por eles durante esse processo.

Verificamos que o processo argumentativo abarca basicamente seriação, classificação e organização das informações – características essenciais para estruturar o problema para se obter uma explicação. Ele abrange ainda as etapas de cuidado com os dados e definição das variáveis relevantes ao problema do ciclo argumentativo. Destacamos que no episódio 1, essas ações foram realizadas pelo professor ao ditar o enunciado do problema fechado. Os alunos recorrem à previsões, hipóteses e a raciocínios lógicos e proporcionais na busca de uma explicação. Notamos que a indução não esteve presente nos episódios analisados, nossa hipótese é que as situações observadas envolveram a resolução de problemas, nos quais os processos dedutivos são essenciais.

Destacamos também o intenso uso de justificativas – algo fundamental para que se estabeleça uma situação de argumentação. Por outro lado, o uso de justificativas não configura necessariamente uma boa qualidade desse tipo de discurso, tal como pontuado por Sandoval e Millwood (2007) e Sampson e Clark (2006). Isso ficou evidente no decorrer dos episódios.

No primeiro episódio, no qual o contato com os fenômenos era recente, os estudantes conseguiram relacionar os conceitos de massa e velocidade simultaneamente para discutir as colisões, com o uso especializado da linguagem algébrica, alcançando uma explicação coerente da situação. Eles se engajaram em um momento de fazer ciência (Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2000), porém, é evidente que houve uma dificuldade em associar o fenômeno e a representação matemática (expressão da quantidade de movimento). O raciocínio abduutivo (adotar a regra de divisão destacando a proporcionalidade entre os valores de massa e velocidade do carro e do caminhão), deveria ser retomado e discutido em detalhes no grande grupo, para estimular a tomada de consciência sobre as relações entre o fenômeno em questão e as relações matemáticas.

Dessa forma, esse raciocínio abduutivo não seguiu o caminho que Rahman (2007) indica para essa prática: faltou o teste da hipótese explanatória (uso da regra de divisão), ou seja, não houve a verificação de que essa inferência seria ou não a melhor explicação e não houve uma revisão das concepções em um caminho plausível e racional. Assim, o posterior teste da ideia nova por meio da dedução (Pierce, 2012; Pedemonte e Reid, 2011; Miskulin, 1999) ficou prejudicado, levando os alunos a não refletirem sobre todo o processo.

Isso indica que o tempo para debater as resoluções dos estudantes deve ser maior, para que eles consigam visualizar as colisões na representação matemática da conservação da quantidade de movimento. Evita-se assim prejudicar a justificação do uso da linguagem algébrica para a resolução das questões e dos problemas abertos, situação na qual destacamos que o discurso multimodal do professor deve ser construído com vistas a atingir esse objetivo. Posteriormente, o docente deve discutir como a linguagem fenomenológica se traduz na representação algébrica e vice-versa (Laburú *et al.*, 2011) – a introdução de uma atividade que fizesse os alunos escrever sobre essas relações talvez ajudasse na tomada de consciência sobre esses conhecimentos. O episódio 1 é marcante e ilustrativo, pois os alunos do grupo de análise compreendem qualitativamente que as quantidades de movimento devem ser iguais e manipulam os números de forma que o resultado seja o mesmo (dividindo a velocidade do carro pela do caminhão e depois a massa do caminhão pela do carro, a obtendo valores iguais). Como o raciocínio usado por esses estudantes não foi levado para toda a turma, dificultou-se o entendimento do modelo matemático e mesmo a noção qualitativa de conservação se tornou difusa ao longo dos episódios posteriores, à medida que as situações ficaram mais abstratas.

Essa situação ficou bastante evidente no episódio 6, no qual os alunos em pequenos grupos passam por todas etapas do ciclo argumentativo, mas a qualidade argumentativa deteriora bastante – as linguagens cooperaram para estruturar o problema e especializaram a explicação do resultado deduzido ‘mecanicamente’. Ou seja, os estudantes do grupo de análise entendem que modelizar é copiar o modelo de resolução que se encontrava na lousa e fazem isso de forma acrítica, situação semelhante à chamada de ‘fazer lição’ por Jiménez-Aleixandre *et al.* (2000), na qual os discentes fazem a atividade por uma demanda externa do docente apenas por obrigação. Observa-se esse fato nas estimativas absurdas realizadas e na não interpretação do resultado deduzido.

Dessa forma, o conhecimento matemático demandado pelos estudantes vale-se prioritariamente da linguagem algébrica no procedimento de realização de es-

timativas baseadas em conhecimento empírico e conhecimentos sistematizados para os valores das variáveis, no decorrer dos processos de seriação, classificação e organização de informações – que se encontram nas etapas de cuidado com os dados existentes e definição de variáveis relevantes ao problema do ciclo argumentativo. Eles evocam ainda em seus conhecimentos prévios algumas regras na forma de uma hipótese (abdução) para justificar o resultado, como a divisão para explicar a repartição da quantidade de movimento ou a equação da velocidade média.

Os processos dedutivos são realizados por meio da linguagem algébrica, porém, os estudantes não conseguem estabelecer uma explicação sólida sobre as situações propostas. Há um grande distanciamento entre os seus conhecimentos empíricos e o saber de como a matemática é usada para modelizar e explicar as situações físicas.

Em todas essas situações os esquemas e os gestos cooperam no estabelecimento de estimativas e na estruturação matemática do problema, que é apoiada por previsões, raciocínios lógicos e proporcionais e hipóteses. No final do processo, os alunos apenas repetem de forma acrítica um modelo de resolução.

Nossa hipótese para essa situação é que os elementos encontrados nas características campo-dependentes da argumentação ocorrem cotidianamente, por outro lado, a forma sistemática como esses elementos ocorrem na ciência, ou os compromissos lógicos e epistemológicos específicos da ciência na linguagem de Sampson e Clark (2006), é diferente e envolve a discussão proposta sobre a qualidade desse discurso, em sua forma e conteúdo (tal qual a ferramenta que propomos evidenciar). Dessa forma, as atividades de ensino precisam considerar a discussão dessas duas dimensões da qualidade do discurso argumentativo, por meio do estímulo aos estudantes a exporem e reverem seus argumentos, aproximando os elementos cotidianos usados por eles dos elementos campo-dependentes usados na ciência. Em específico, na sequência de ensino proposta, é importante que ela se torne uma investigação mais autêntica, ao introduzir uma atividade de modelização que possibilite relacionar fenômenos e representações matemáticas.

## Referências bibliográficas

- Aberdein, A. (2005). The uses of argument in mathematics. *Argumentation*, 19(3), p.287–301.
- Bellucco, A.; & Carvalho, A. M. (2014). Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31(1), 30-59.
- Bellucco, A.; & Carvalho, A. M. (2009). Construindo a linguagem gráfica em uma aula experimental de física. *Ciência e Educação*, 15(1), 61-84.
- Capecchi, M. C. V. M. (2004a). Aspectos da cultura científica em atividades de experimentação nas aulas de física. *Tese de Doutorado*. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Capecchi, M. C. V. M. (2004b). Argumentação numa aula de Física. In A.M.P. Carvalho (Ed.), *Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática* (pp.59-76). São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- Cobern, W.W & Aikenhead, G.S. (1998). Cultural aspects of learning science. In: FRASER, B.J. & TOBIN, K.G. (Ed.). *International Handbook of Science Education* (pp. 39-52). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishes.
- Driver, R.; Asoko, H.; Leach, J.; Mortimer, E. & Scott, P. (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23 (7), 5-12.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
- Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268–291.
- Erduran, S. (2007). Methodological Foundations in the Study of Argumentation in Science Classrooms. In M. P. Jiménez-Aleixandre & S. Erduran (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 47-70). Dordrecht, the Netherlands: Springer.
- Fourez, G. (2003). Crise no ensino de ciências? *Investigações em Ensino de Ciências*, 8 (2), 109-123. Recuperado de [www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo\\_ID99/v8\\_n2\\_a2003.pdf/](http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID99/v8_n2_a2003.pdf/).
- Jiménez-Aleixandre, M. P.; Rodríguez, A. B.; & Duschl, R. A. (2000). “Doing the Lesson” or “Doing Science”: argument in High School genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
- Jiménez-Aleixandre, M. P.; & Bustamante, J. D. (2003). Discurso de Aula y Argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 359-370. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/38990750.pdf>.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2005). A argumentação sobre questões sócio-científicas: processos de construção e justificação do conhecimento na aula. In *V Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências* (pp.1-12). Bauru: ABRAPEC. Recuperado de [www.nutes.ufrj.br/abrapec/venpec/conteudo/conferencias/c4.doc](http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/venpec/conteudo/conferencias/c4.doc).
- Laburú, C. E.; Barros, M. A.; & Silva, O. H. (2011). Multimodos e múltiplas representações, aprendizagem significativa e subjetividade: três referenciais

- conciliáveis da educação científica. *Ciência & Educação*, 17(2), p.469-487. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v17n2/a14v17n2.pdf>.
- Lemke, J. L. (1998a). Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In J. MARTIN and R. VEEL (Eds.), *Reading science* (pp. 87-113). London: Routledge.
- Macdonald, S. P.; & Kelly, G. J. (2012). Beyond argumentation: sense-making discourse in the science classroom. In M.S. Kline (Ed.), *Perspective on Scientific Argumentation* (pp. 265-282). Bahrain: Springer.
- Márquez, C.; Izquierdo, & M.; Espinet, M. (2003), Comunicación multimodal en la clase de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 371-386. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/38990751.pdf>.
- Miskulin, R. G. S. (1999). Concepções teórico-metodológicas sobre a introdução e a utilização de computadores no processo ensino/aprendizagem da geometria. *Tese de Doutorado*. Faculdade de Educação da Universidade de Campinas, Campinas, 1999.
- Mortimer, E. F.; & Scott, P. H. (2002). Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3), 283-306. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/562/355>.
- Nascimento, S. S.; & Vieira, R. D. (2009). A argumentação em sala de aula de física: limites e possibilidades de aplicação do padrão de Toulmin. In S.S. Nascimento and C. Plantin (Eds.), *Argumentação e Ensino de Ciências* (pp. 17-37). Curitiba: Editora CRV.
- Pedemonte, B.; & Reid, D. (2011). The role of abduction in proving processes. *Educational Studies in Mathematics*, 76(3), 281-303.
- Peirce, C. S. (2012). *Semiótica*. São Paulo: Perspectiva.
- Preti, D. (Ed.). (1997). *O discurso oral culto*. São Paulo: Humanitas.
- Rahman, S. (2007). Abduction, belief-revision and non-normality. In O. Pombo, O and A. Gerner (Eds.), *Abduction and the process of scientific discovery* (pp. 13-26). Lisboa: Publidisa.
- Sampson, V.; & Clark, D. (2006). Assessment of argument in science education: A critical review of the literature. In S. A. Barab, K. E. Hay, & D. T. Hickey (Eds.), *Proceedings of the 7th International Conference of the Learning Sciences* (pp. 655-661). Bloomington, IN: International Society of the Learning Sciences.
- Sampson, V.; Enderie, P.J.; & Walker, J. P. (2012). 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* (pp.235-264). Bahrain: Springer.
- Sandoval, W. A.; & Millwood, K. A. (2007). What can argumentation tell us about epistemology? In M. P. Jiménez-Aleixandre & S. Erduran (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 71-88). Dordrecht, the Netherlands: Springer.
- Sasseron, L. H. (2008). Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula. *Tese de Doutorado*. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.



- Sasseron, L. H.; & Carvalho, A. M. P. (2011a). Uma análise dos referenciais teóricos sobre a estrutura do argumento para estudos de argumentação no ensino de ciências. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(3), 243-262. Recuperado de [www.scielo.br/pdf/epec/v13n3/1983-2117-epec-13-03-00243.pdf](http://www.scielo.br/pdf/epec/v13n3/1983-2117-epec-13-03-00243.pdf).
- Sasseron, L. H.; & Carvalho, A. M. P. (2011b). Construindo argumentação em sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de Alfabetização Científica e o padrão de Toulmin. *Ciência & Educação*, 17(1), 97-114. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v17n1/07.pdf>.
- Souza, V. F. M.; & Sasseron, L. H. (2012a). As interações discursivas no Ensino de Física: a promoção da discussão pelo professor e a alfabetização científica pelos alunos. *Ciência & Educação*, 18(3), 593-611. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v18n3/07.pdf>.
- Souza, V. F. M.; & Sasseron, L. H. (2012b). As perguntas em aulas investigativas de ciências: a construção teórica de categorias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 12(2), 29-44. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2433/1833>.
- Toulmin, S. E. (2006). *Os Usos do Argumento*. São Paulo: Martins Fontes, 2. ed.
- Uhden, O.; Karam, R. A. S.; Pietrocola, M.; Pospiech, G. (2011). Modelling Mathematical Reasoning in Physics Education. *Science & Education*, 21 (4), 485-506.
- Urquhart, K (2002). Hard sciences in terminal decline? *Science*, 296 (5567), 453.
- Vieira, R. D.; & Nascimento, S. S. (2008). Contribuições e limites do padrão de Toulmin aplicado em situações a sala de aula de ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 8(2), p.1-20. Recuperado de <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2217/1616>.
- Vieira, R. D.; & Nascimento, S. S. (2009). Uma proposta de critérios marcadores para a identificação de situações argumentativas em sala de aula de ciência. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 26(1), 81-102. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2009v26n1p81/10021>.