

Investigações em Ensino de Ciências – V15(1), pp. 61-95, 2010

A CONSTRUÇÃO DE UMA ARGUMENTAÇÃO SOBRE A SÍNTESE NEWTONIANA A PARTIR DE ATIVIDADES EM GRUPOS¹

(The Construction of an Argumentation on the Newtonian Synthesis from Groups' Activities)

Elder Sales Teixeira [eldersate@gmail.com]

Departamento de Física/UEFS; PPGEFHC/UFBA-UEFS

Climério Paulo da Silva Neto [cpsneto@gmail.com]

Instituto de Física/UFBA; bolsista PIBIC/CNPq/UFBA

Olival Freire Jr. [freirejr@ufba.br]

Instituto de Física/UFBA; PPGEFHC/UFBA-UEFS

Ileana M^a Greca [ilegreca@hotmail.com]

Departamento de Física, Universidad de Burgos, España

Resumo

Este trabalho investiga a qualidade da argumentação dos alunos sobre a síntese newtoniana e a relação da qualidade dessa argumentação com o texto referência usado nas atividades em grupos desenvolvidas numa disciplina do Curso Noturno de Licenciatura em Física da UFBA. A pesquisa foi feita com alunos da disciplina Física Básica – I, que usa uma abordagem contextual de ensino, e desenvolvida através de método qualitativo com observação participativa, vídeo- e áudio-gravação das aulas. Foi usado, como instrumento de análise, a estrutura de argumentação de Toulmin. Resultados indicaram que a discussão em grupos e entre os grupos propiciou a construção de uma argumentação coletiva satisfatória, embora com limitações, sobre a síntese newtoniana e que a abordagem contextual, através do texto referência - que discute a experiência de pensamento da 'queda da lua' de Newton como fundamental para a síntese newtoniana - exerceu um papel fundamental na qualidade da construção dos discursos dos alunos.

Palavras-chave: Argumentação; Abordagem Contextual; Síntese Newtoniana; Atividades em Grupos.

Abstract

This paper analyses students' argumentation quality on the Newtonian synthesis and its relation with the instructional material used with students from the physics course at the UFBA titled Física Básica I, which is given through a contextual approach. The research was carried with a qualitative method, with participative observation and audio and video recording. As a theoretical tool we adopt Toulmin's argumentation structure. Results suggest that discussions intra and inter groups contributed to the building of a qualified collective argumentation, although with some restrictions, on the subject under debate. They also suggested that the contextual approach present in the text used in the course – a presentation of Newton's thought experiment on the moon's fall – was instrumental in enhancing the quality of students' speeches.

Keywords: Argumentation, Contextual Approach, Newtonian Synthesis, Groups' Activities.

Introdução

Pesquisadores em ensino de ciências têm atentado para o papel da argumentação como elemento essencial da educação científica e dedicado esforços de pesquisa para investigar este tema. Os principais fatores que têm sido relatados na literatura como benefícios de um ensino de ciências com preocupações quanto à argumentação são: aprendizagem não apenas dos conteúdos científicos

¹ Resultados parciais deste trabalho foram apresentados no VI ENPEC (ver Teixeira, E. S.; Silva, C. P. e Freire, O. Argumentação e Abordagem Contextual: Ensinando a Síntese Newtoniana. Em Mortimer, E. F. (ORG.). **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte: ABRAPEC. 2007. CD-ROM.

em si, mas também a aprendizagem sobre a ciência², pois propicia oportunidade de engajamento dos estudantes na cultura científica; desenvolvimento de aspectos metacognitivos, pois permite oportunidade de reflexão sobre suas próprias formas de pensamento; desenvolvimento de diferentes formas de pensamento, pois leva em conta fatores sócio-culturais na construção do conhecimento (Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick, 2006; Erduran et al., 2004; Albe, 2008; Munford e Zembal-Saul, 2002; Jiménez-Aleixandre et al., 2000_{a,b}). Em geral, as pesquisas devotadas a este tema, assumem que o conhecimento científico é socialmente construído e que sua aprendizagem pode ser propiciada ao engajar os estudantes em atividades que envolvam sua interação social e que permitam serem expostos ao gênero do discurso da ciência, tais como, práticas de laboratório, trabalhos de investigação, atividades em grupo etc. (Mortimer e Scott, 2002; Jiménez-Aleixandre et al., 2000_b; Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick, 2006; Sutton, 2003; Driver et al., 1994; Erduran et al., 2004; Albe, 2008). Essa assunção, por sua vez, tem seus pressupostos na idéia de Vigotski de que o pensamento do indivíduo é construído a partir da sua experiência sócio-cultural (Vigotski, 1934/2001).

Conforme salientam Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick (2006), a adoção de atividades que promovam argumentação tem sido rara nas salas de aula de ciências do ensino em geral e, em particular, do ensino universitário. Há também uma necessidade de que mais pesquisas sejam feitas para avaliar o potencial destes recursos para promover a argumentação. Dentro desta perspectiva, este trabalho visa investigar a qualidade do discurso dos alunos na construção de uma argumentação coletiva sobre a síntese newtoniana, bem como investigar a relação entre a qualidade dessa argumentação e o texto didático usado como referência em atividades em grupos que foram desenvolvidas em sala de aula de uma disciplina inicial do Curso Noturno de Licenciatura em Física da UFBA, que é informada por uma abordagem contextual de ensino³.

A escolha da gravitação universal como tópico sobre o qual focar uma abordagem contextual poderia parecer uma escolha ditada apenas pela presença desse conteúdo nos programas de Física Geral que integram a formação dos Licenciados em Física. Nossa escolha, contudo, foi ditada por considerações mais amplas. A abordagem contextual foi utilizada ao longo de todo um curso que poderia adequadamente ser denominado de “a revolução copernicana”. De fato, embora o foco da investigação educacional aqui apresentada tenha se concentrado na introdução da gravitação, o programa do curso de Física Básica I da Licenciatura Noturna da UFBA cobre a origem da astronomia na antiguidade; a física e a cosmologia aristotélica; as disputas entre os dois sistemas cosmológicos na antiguidade; a física medieval; a obra de Copérnico, Bruno, Brahe, Kepler, Galileu, Descartes, Huygens e Newton; e a consolidação da mecânica newtoniana. A síntese newtoniana com a introdução da idéia de força gravitacional é apresentada assim como o capítulo final da revolução copernicana. Por outro lado, se é verdade que gravitação é parte dos programas de Física Geral, também é verdade que muitas vezes esse tópico não é valorizado nos livros textos (Freire, Matos e Valle, 2004, p. 25), e no caso do ensino médio brasileiro ele é muitas vezes simplesmente abandonado. A valorização da gravitação, com sua introdução feita através de abordagem contextual, foi, portanto, escolha ditada por considerações educacionais mais amplas, relacionadas aos próprios objetivos do ensino de física.

De fato, como afirmado por Rutherford e Ahlgren (1995, p. 173), “*foi a Isaac Newton, cientista inglês, que coube reunir todos esses fios [relacionados aos desenvolvimentos na mecânica e na astronomia] e avançar para além deles, criando a concepção do universo moderno.*” Nos Princípios Matemáticos da Filosofia Natural (Newton, 1687/1999), “*publicado perto do fim do*

² Para Matthews (1994), a educação científica não deveria ser apenas um treinamento em ciências, mas também, um ensino sobre ciências, o que significa que, além do conhecimento dos conteúdos das matérias e do desenvolvimento de habilidades científicas, os estudantes deveriam ter acesso a uma apreciação dos métodos, sua diversidade e suas limitações, enfim, uma apreciação sobre a natureza da ciência.

³ Abordagem de ensino de física informado pelas contribuições da História e da Filosofia da Ciência.

século XVII e destinado a ser um dos livros mais determinantes jamais escritos, Newton apresentou uma visão matematicamente perfeita do mundo que reuniu conhecimentos do movimento dos objectos na Terra e dos movimentos distantes dos corpos celestes”.

A escolha do programa dessa disciplina não apresenta, entretanto, originalidade. Na tradição educacional do ensino de física informado pelas contribuições da História e da Filosofia da Ciência, tanto a revolução copernicana como a síntese newtoniana têm sido consideradas itens fundamentais no conteúdo da Física, especialmente no ensino pré-universitário, uma vez compreendido que esse ensino deva ser conectado com a tradição cultural mais ampla. Sem investigar as origens mais remotas dessa opção programática, observamos que ela foi o tema com o qual Thomas Kuhn fez sua conversão de uma carreira em Física para uma carreira em História da Física, inicialmente ministrando na Universidade de Harvard um curso que tinha como título “O desenvolvimento da mecânica de Aristóteles a Newton”, e publicando em 1957 seu *A Revolução Copernicana* (Kuhn, 1957; 2003, p. 333-352). No mesmo ambiente da Universidade de Harvard, no qual a história da ciência como componente do ensino de ciências foi fortemente valorizada por James Conant, seu mais influente reitor, apareceria na década de 1960 aquele que ainda hoje pode ser considerado o melhor exemplar de material instrucional em ensino de física nos marcos da abordagem contextual, o *The Project Physics Course* (Matthews, 1994: 6; Holton, Rutherford e Watson, 1970).⁴ O programa da disciplina na qual realizamos tal investigação foi fortemente influenciado por esse material instrucional, e sua edição portuguesa é utilizada como bibliografia do mesmo curso. Não por acaso, a síntese newtoniana é um tópico central no denominado Projeto Harvard. Mais recentemente, o mesmo tópico, e abordagem semelhante foram valorizados tanto no programa do *Science for All Americans*, sugerido pela American Association for the Advancement of Science (Rutherford e Ahlgren, 1995), quanto na experiência francesa conduzida por Sonnevile e Fauque (1997). O desenho do programa da disciplina na qual realizamos a presente investigação foi, portanto, fortemente influenciado por essas tradições. A novidade da nossa comunicação não reside em relatar uma experiência didática com tal desenho programático, mas sim na investigação dos seus efeitos educacionais. Contudo, o uso do material instrucional (Freire, Matos e Valle, 2004), é uma abordagem didática inovadora vez que esse material explora o uso da apresentação da Proposição IV do Livro III dos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, na qual Newton usa o recurso de um experimento de pensamento – a queda da Lua – para introduzir, pela primeira vez na história, a idéia de força gravitacional. A presente pesquisa pretende contribuir, inclusive, para o ulterior aprimoramento desse material instrucional.

Argumentação

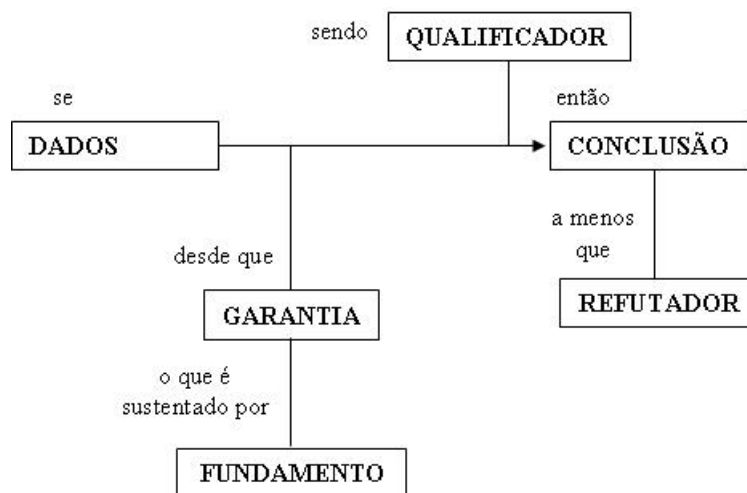
Para além dos benefícios, já apontados aqui, de um ensino de ciências focado na argumentação (Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick, 2006; Erduran et al., 2004; Albe, 2008; Munford e Zembal-Saul, 2002; Jiménez-Aleixandre et al., 2000_{a,b}), o uso da argumentação na educação científica, segundo Erduran et al. (2004), pode ser justificado por razões de natureza epistemológica, bem como, cognitiva.

As razões epistemológicas advêm da noção de que a ciência progride muito mais em função da existência de conflitos do que de um acordo geral e a argumentação tem um papel fundamental em tais conflitos através das explicações e interpretações fornecidas pelos cientistas, além dos processos de validação e tomadas de decisão pelos mesmos, portanto aquela é central no discurso dos cientistas (Erduran et al., 2004; Driver et al., 2000). E promover uma compreensão dos processos da ciência tem sido uma das principais metas da educação científica (Matthews, 1994).

⁴ Referências sobre avaliação do uso do *The Project Physics* podem ser encontradas em Matthews (1994, p. 216, nota 8), e uma avaliação da própria elaboração do projeto em Welch (1971). A tradução portuguesa dos textos está esgotada.

As razões cognitivas partem do pressuposto de que ao serem envolvidos em atividades de argumentação os estudantes são levados a expor e discutir publicamente seu pensamento, submetendo-o à apreciação crítica dos outros e, assim, resignificando-o. Isto significa deslocar as idéias do plano intra-subjetivo (argumento retórico, pessoal, individual) para o plano inter-subjetivo (argumento dialógico, construído com a influência de diferentes vozes) e, conforme os autores (Erduran et al., 2004: 917), “a interação entre as dimensões pessoal e social promovem reflexividade, apropriação e o desenvolvimento de crescimento, crenças e valores”.

O modelo de argumentação de Toulmin tem sido frequentemente usado pelos pesquisadores em ensino de ciências, dentre outros, como ferramenta metodológica para analisar os processos argumentativos nas salas de aula de ciências (Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick, 2006; Erduran et al., 2004; Albe, 2008; Munford e Zembal-Saul, 2002; Jiménez-Aleixandre et al., 2000_{a,b}). Toulmin (1958/2006) apresenta um modelo de estrutura de um argumento estabelecendo seus componentes, bem como as relações funcionais entre eles. Tais componentes são: **dados** – são os fatos que conduzem a uma conclusão; **conclusões** – são asserções, cujos méritos devem ser estabelecidos; **garantias** - são afirmativas hipotéticas gerais que servem de elo de ligação entre os dados e as conclusões e que autorizam essa ligação, ou seja, são as permissões contidas no argumento para se chegar às conclusões a partir dos dados; **fundamentos** - dão sustentação às garantias do argumento servindo, portanto, para legitimá-las. No caso da ciência, os fundamentos são as leis, princípios etc., partilhados pela comunidade científica; **refutador** - é uma condição de exceção para o argumento. É uma condição ou circunstância em que, caso a autoridade da garantia seja contrariada, invalida a conclusão; **qualificador** - é um operador modal sobre uma afirmativa, é uma condição no argumento, dependente de uma situação específica, que conduz a uma conclusão (Toulmin, 1958/2006; ver também Verheij, 2005).



Esquema de Toulmin para a argumentação

A sua qualidade de permitir identificar os componentes presentes em um argumento e, por contraste, aqueles que estão ausentes, bem como identificar também a relação entre eles, torna o modelo de argumentação de Toulmin um instrumento eficaz para analisar a qualidade de uma argumentação, o que justifica a sua adoção. Entretanto, este modelo não está isento de dificuldades. Uma delas diz respeito à possibilidade de ambiguidade na interpretação de determinada sentença que pode ser vista, por um lado, como uma conclusão e, por outro, como um dado ou garantia que poderia levar a uma outra conclusão. Contudo, esta dificuldade pode ser amenizada quando se concentra nas relações causais entre as sentenças ao longo do raciocínio como um todo. Mesmo sendo considerada isoladamente como uma conclusão, uma sentença pode, dentro do argumento como um todo, ser avaliada como um dado ou uma garantia para uma conclusão posterior, em função do seu papel no argumento (Erduran et al., 2004, Krummheuer, 2007).

Outra dificuldade diz respeito à limitação do modelo de Toulmin para interpretar as interações sociais entre os sujeitos ao elaborar um argumento coletivamente, visto que ele se concentra no conteúdo dos argumentos (seus componentes e sua estrutura) e não no papel das interações sociais entre os sujeitos na construção do argumento (Albe, 2008). Como forma de superar esta limitação foi usado aqui o instrumento desenvolvido por Mortimer e Scott (2002) para caracterizar as interações em sala de aula e, assim, permitir identificar o papel destas interações na construção coletiva do argumento.

A construção de uma argumentação coletiva em sala de aula deve ser produzida, em um primeiro momento, através do trabalho em grupos, em que cada estudante deve se inserir no tema e depois discutir suas conclusões com os outros membros do grupo. Desta discussão, por meio de negociação, se chega a um produto que representa a posição do grupo sobre o tema. Em seguida, a discussão se amplia para toda a turma, sendo que as posições dos grupos são validadas por todos em função de sua consistência e das conclusões oriundas da própria discussão coletiva. Tal consistência é apreciada em termos das palavras-chave (representar, comparar, explicar, justificar, concordar e validar) (Brown, 2007).

Segundo Krummheuer (2007), em uma pesquisa com estudantes do ensino fundamental de uma escola alemã para investigar a participação destes em processos de argumentação coletiva em uma sala de aula de Matemática, os estudantes que participam ativamente da produção da argumentação coletiva, contribuem para esta de duas formas: fornecendo sentenças, que por sua vez podem ser categorizadas em termos do modelo de Toulmin; e assumindo um determinado papel específico que revela sua autonomia enquanto membro do grupo.

Outro aspecto a ser salientado é a importância da participação do professor no gerenciamento da argumentação coletiva. Segundo Brown (2007: 120), *“o professor pode re-frasear, parafrasear e re-representar as contribuições dos grupos particulares, fazer conexões entre as contribuições, se referir a problemas prévios e relembrar as formas nas quais situações similares foram abordadas no passado”*. O professor pode desafiar os estudantes com questões, adicionar ao argumento coletivo aprimorando-o, além de poder avaliar diretamente o progresso dos alunos durante o processo de argumentação coletiva. Através desta forma de mediar os relatos dos grupos, o professor propicia condições, na prática, para estabelecer um sentido de comunidade científica para os estudantes (Brown, 2007).

Uma possível limitação, contudo, da estratégia de ensino através de argumentação coletiva, diz respeito à extensão em que se pode avaliar o avanço do entendimento individual dos estudantes sobre o conteúdo tratado, algo que precisa ser melhor investigado, conforme conclui Brown (2007) em uma pesquisa feita para investigar o envolvimento de estudantes de 11 a 12 anos de idade de uma escola australiana, inseridos em atividades de argumentação coletiva, em práticas que refletem as de uma comunidade de matemáticos.

Antes de passarmos ao contexto e metodologia da pesquisa, cabe assinalar que, em função de nossos compromissos educacionais mais amplos, o interesse de Toulmin nos procedimentos da argumentação não foi independente de sua visão de mundo e de sociedade. Para ele, o século XVII, que nós professores de ciências naturais apresentamos sempre orgulhosamente como o do nascimento da ciência moderna, teria sido também um momento de perda de equilíbrio da razão. Em seu *Cosmopolis* (Toulmin, 1992), ele apresenta um detalhado argumento histórico e epistemológico para explicar esse desequilíbrio, ao tempo em que aponta a necessidade, para a superação da crise da modernidade, de recuperação de formas de conhecimento que ficaram desvalorizadas no referido desequilíbrio. Não é o caso, aqui, de apresentarmos o argumento de Toulmin, mas apenas de apontarmos a sua conexão com o papel da argumentação. Em um texto sintético recente, Toulmin (2003, p. 254) afirma que *“a partir de meados do século XVII, começou a desenvolver-se uma situação de desequilíbrio. Certos temas e métodos de investigação foram*

considerados filosoficamente sérios ou ‘racionais’ de uma forma que não se aplicava a outros.” Essa hierarquização dos saberes, que ele explora sob o contraste entre as rubricas da “racionalidade” e da “razoabilidade”, pode ser exemplificada desse modo:

“O contraste entre a razoabilidade das narrativas e o rigor das provas formais, entre a autobiografia e a geometria, é o contraste entre a ‘solidez’ da ‘argumentação’ substantiva, que tem a estrutura e a força necessárias para transmitir confiança, e a ‘validade’ dos ‘argumentos’ formais, cujas conclusões são determinadas pelos pontos de partida dos quais eles são deduzidos” (Toulmin, 2003, p. 256).

A nossa opção pela análise da argumentação em sala de aula, em torno de um tópico específico de conteúdo da física, é, portanto, tanto motivada pelas possibilidades que vislumbramos para a pesquisa em ensino quanto animada pela idéia de que a valorização da argumentação substantiva contribui para aproximar o ensino de ciências de objetivos educacionais humanistas mais largos.

Contexto e metodologia

As aulas foram realizadas nos dias 30 de maio e 01 de junho de 2007 e estão descritas em mapas de aula⁵. Estas atividades constaram de discussões em grupos e entre os grupos com mediação do professor. As discussões foram baseadas no texto de Freire, Matos e Valle (2004), cuja leitura foi feita pelos alunos antes das aulas.

No início das atividades foi entregue um questionário contendo seis itens para orientar as discussões: (1) Explique como Newton comparou a aceleração da Lua em sua órbita com a aceleração da gravidade na superfície da Terra. Quais os artifícios que ele utilizou para isso? (2) Que argumentos Newton utilizou para justificar a adoção de uma força proporcional ao inverso do quadrado da distância? (3) Qual o principal obstáculo enfrentado por Newton para introduzir a idéia de uma força gravitacional de ação à distância? Que saída ele encontrou para minimizar o problema? (4) O que você entende por síntese newtoniana? Qual a importância e implicações dessa síntese? (5) Que argumentos Newton utilizou para adotar o sistema Heliocêntrico? (6) Que conclusões você chega sobre o trabalho de Newton depois da leitura do artigo e da atividade em classe?

Na primeira aula foram discutidos os assuntos do texto referentes aos três primeiros itens do questionário e os grupos tiveram cerca de 50 minutos para discussão interna entre seus integrantes (discussão em grupos). Toda a aula foi gravada em vídeo e durante o período da discussão em grupos, a filmagem foi direcionada para um dos grupos. A partir de um trecho desta filmagem, no qual ocorreu um debate relevante entre seus membros sobre os assuntos em questão, e com o auxílio do mapa de aula, foi identificado o Episódio I que serviu para nortear a análise do processo interno de elaboração do argumento do grupo. Isto, conjuntamente com a análise das discussões entre os grupos, serviu como forma de validação interna da pesquisa.

Ao fim deste período foi aberta a discussão entre os grupos, mediada pelo professor, em que cada grupo apresentou seus argumentos frente aos itens do questionário. Em média, dois ou três alunos falavam pelo seu grupo, os demais permaneciam atentos à discussão. Os itens 1, 2 e 3 do questionário foram debatidos na sequência, um-a-um, sendo que, da discussão de cada item foi possível identificar momentos significativos de construção argumentativa, que vieram a constituir os três outros episódios de ensino desta aula. A feitura do mapa de aula foi fundamental para permitir essa identificação. Assim, os Episódios II, III e IV constam das discussões sobre os itens 1, 2 e 3, respectivamente.

⁵ Estes mapas de aula foram inspirados nos mapas apresentados por Amaral e Mortimer (2006).

Os outros três itens foram discutidos na aula seguinte, cujo procedimento se repetiu. Como se tratou de uma aula extra, houve uma pequena redução na frequência. Os grupos da aula anterior se repetiram, mas com algumas mesclas. Nesta aula, a gravação foi feita somente em áudio e o áudio-gravador (*pendrive*) era colocado próximo à pessoa que falava. Em média, dois ou três alunos falavam pelo seu grupo, sendo que os demais ficavam atentos. De forma similar ao que ocorreu na aula anterior, os itens 4, 5 e 6 do questionário foram debatidos na sequência, um-a-um, sendo que, da discussão de cada item foi possível identificar momentos significativos de construção argumentativa, que vieram a constituir os três episódios de ensino desta aula. O mapa da segunda aula foi fundamental para permitir essa identificação. Assim, os Episódios V, VI e VII constam das discussões sobre os itens 4, 5 e 6, respectivamente. No decorrer das atividades, a maior parte da turma participou das discussões gerando episódios muito ricos para a análise.

Para descrever a condução das atividades, em termos das interações sociais produzidas em sala de aula, foi usado o instrumento de Mortimer e Scott (2002) desenvolvido para analisar os tipos de interações entre professores e alunos em salas de ciências, bem como a produção de significados nas mesmas.

Baseando-se neste instrumento pôde-se fazer uma descrição da condução das atividades em seu contexto mais geral. Vale ressaltar que Mortimer e Scott (2002) usaram o instrumento para analisar, em seu trabalho, cada episódio individualmente. Aqui, contudo, o instrumento foi utilizado para fazer uma caracterização geral do conjunto dos episódios em termos do desenvolvimento das atividades realizadas.

Dentro dessa perspectiva pôde-se perceber que as atividades realizadas foram conduzidas sempre com a intenção de “elicitare” os argumentos dos alunos sobre a síntese newtoniana por meio das discussões, seja em pequenos grupos, seja com toda a turma, com vistas à construção de uma argumentação coletiva sobre esse tema. Esta argumentação foi construída em termos de uma explicação teórica sobre a síntese newtoniana, nos marcos do modelo astronômico heliocêntrico que se configurou no séc. XVII e da teoria gravitacional de Newton que deu suporte mecânico a este modelo, a partir da experiência idealizada da ‘queda da lua’ de Newton.

Em coerência com a intenção de trazer à tona os discursos dos alunos, as aulas foram conduzidas a partir de uma abordagem comunicativa que variava de Interativo/Dialógica (I/D) para Interativo/de Autoridade (I/A) para Não-Interativo/de Autoridade (NI/A) (ver Mortimer e Scott, 2002), na construção da argumentação coletiva sobre a síntese newtoniana. Esse padrão se repetiu em todos os episódios na medida em que o professor: primeiramente interagiu com os grupos permitindo-os expor seus argumentos para discutir o assunto (I/D); fazia intervenções durante as discussões para corrigir alguns argumentos tomando o argumento da ciência como parâmetro (I/A); finalizava a discussão resumindo os argumentos construídos pelo coletivo, devidamente ajustados ao argumento cientificamente partilhado (NI/A). Característica semelhante foi encontrada por Mortimer e Scott (2002) ao analisar uma seqüência de três aulas sobre ‘reações químicas’ em uma escola de ensino médio do norte da Inglaterra. Estes autores caracterizam esta repetição de padrões encontrados nos episódios como um “ritmo de ensino” e o qualificam como “*interessante, ao promover a aprendizagem no contexto da sala de aula*” (Mortimer e Scott, 2002, p. 24). Conforme pode ser visto mais adiante, nas tabelas que descrevem os episódios, foram produzidos padrões de interação tanto do tipo triádica (I-R-A), como não triádica (I-R-P-R-P... ou I-R-F-R-F...) e a intervenção ocorreu de modo que os constructos produzidos na sala puderam ser compartilhados com todos.

A investigação foi realizada no âmbito de uma turma de 30 alunos da disciplina Física Básica I do Curso Noturno de Licenciatura em Física da UFBA (Salvador - Bahia). Trata-se de uma pesquisa qualitativa, com observação participativa. As aulas nas quais foram realizadas as atividades referentes à pesquisa foram gravadas em vídeo ou em áudio que posteriormente foram

transcritos. O uso do equipamento para gravação em vídeo foi introduzido na sala três semanas antes da coleta de dados para familiarização dos alunos (Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick, 2006; Carvalho, 2006). Foram tomados os devidos cuidados éticos, dentre os quais, o esclarecimento aos alunos sobre a pesquisa e o emprego do TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido).

Para proceder à análise, inicialmente foram feitos os mapas de aula das duas aulas consecutivas, nas quais foram realizadas as atividades em grupos, em que se tratou do tema “o argumento da queda da lua e a síntese newtoniana”. Conforme consta nos mapas de aula, foram formados 6 grupos de 5 alunos na 1ª aula e 5 grupos de 4 alunos na 2ª aula. Como instrumento da análise, foi utilizada a estrutura de Toulmin dos argumentos. Esta estrutura permite distinguir em uma argumentação, além dos **dados** e **conclusões**, **garantias** (ou justificativas) e também os **fundamentos**, **refutadores** e **qualificadores** que, segundo Toulmin, constituem os elementos de uma argumentação. Uma vantagem de escolher este instrumento, além das suas qualidades teóricas já apresentadas aqui, é o fato de já ter sido amplamente validado em diversas pesquisas (Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick, 2006; Erduran et al., 2004; Albe, 2008; Munford e Zembal-Saul, 2002; Jiménez-Aleixandre et al., 2000_{a,b}; Brown, 2007; Krummheuer, 2007).

A análise dos resultados foi orientada para responder às seguintes questões de pesquisa:

1. Com que qualidade os alunos argumentam sobre o tema ‘síntese newtoniana’?
2. Qual o papel da atividade em grupo e do texto usado nesta atividade, na construção da argumentação dos alunos sobre o referido tema?

Como forma de validação das análises foi feita uma estratégia de triangulação. Em primeiro momento os dados, após serem transformados e identificados os episódios de ensino (apresentados nas tabelas em anexo), foram analisados por dois dos autores individualmente e, em seguida, coletivamente, com a participação também de um terceiro autor. As poucas divergências que ocorreram foram dirimidas por consenso neste momento. Por fim, os resultados analisados foram submetidos à apreciação do outro autor do trabalho.

Mapa da 1ª aula (realizada em 30/05/2007). Tema: o argumento da queda da lua e a síntese newtoniana.

Duração (h:m:s)	Atividade desenvolvida	Ações do professor e dos alunos	Comentários
Começo da aula: 20:30h. Esta parte da atividade durou cerca de 5 min.	Apresentação e esclarecimento sobre a atividade a ser desenvolvida em sala.	O professor solicita que os alunos se reúnam em grupos de 5 componentes para discutir o tema a partir do texto previamente lido e orientando-se pelos três primeiros itens do questionário para fazer uma discussão coletiva com a apresentação dos resultados de cada grupo. Os alunos se organizam em grupos.	Formaram-se 6 grupos com 5 alunos em cada grupo.
00:00:01 00:48:32	Discussão em grupos. Episódio I (entre 00:25:54 e 00:34:35)	Os alunos em grupo realizam a discussão usando o texto como base e respondendo aos três primeiros itens do questionário.	A filmagem começa a partir desta parte da atividade, sendo focado somente um dos grupos. Neste, o aluno 1 conduz inicialmente a discussão que é acompanhada pelos demais. Dois deles, pouco ou nada participam. Os dois outros (2 e 3) iniciam um debate que constitui o Episódio I .
00:48:33 01:25:32	Discussão coletiva entre os grupos mediada pelo professor. Episódio II (entre 00:49:17 e 01:14:00). Episódio III (entre 01:14:01 e 01:23:10). Episódio IV (entre 01:23:11 e 01:25:32).	O professor inicialmente solicita que se abra uma grande roda na sala e dá esclarecimentos sobre a condução da discussão coletiva. Pede que cada grupo relate os resultados da discussão (as respostas ao questionário) para que se faça uma discussão coletiva mediada pelo professor. Um-a-um, os três primeiros itens do questionário são discutidos.	A filmagem abrange toda a turma, sendo que, quando cada pessoa fala, a câmera foca nela e mais três ou quatro pessoas próximas (em geral, do mesmo grupo). Em média, dois ou três alunos falam pelo seu grupo. Os demais, ficam atentos. Os Episódios II, III e IV constam das discussões sobre os itens 1, 2 e 3, respectivamente.

01:25:33	Encerramento da atividade.	O professor encerra a atividade e prospecta a próxima atividade em que serão discutidos os três outros itens do questionário na aula seguinte.	
01:26:26			

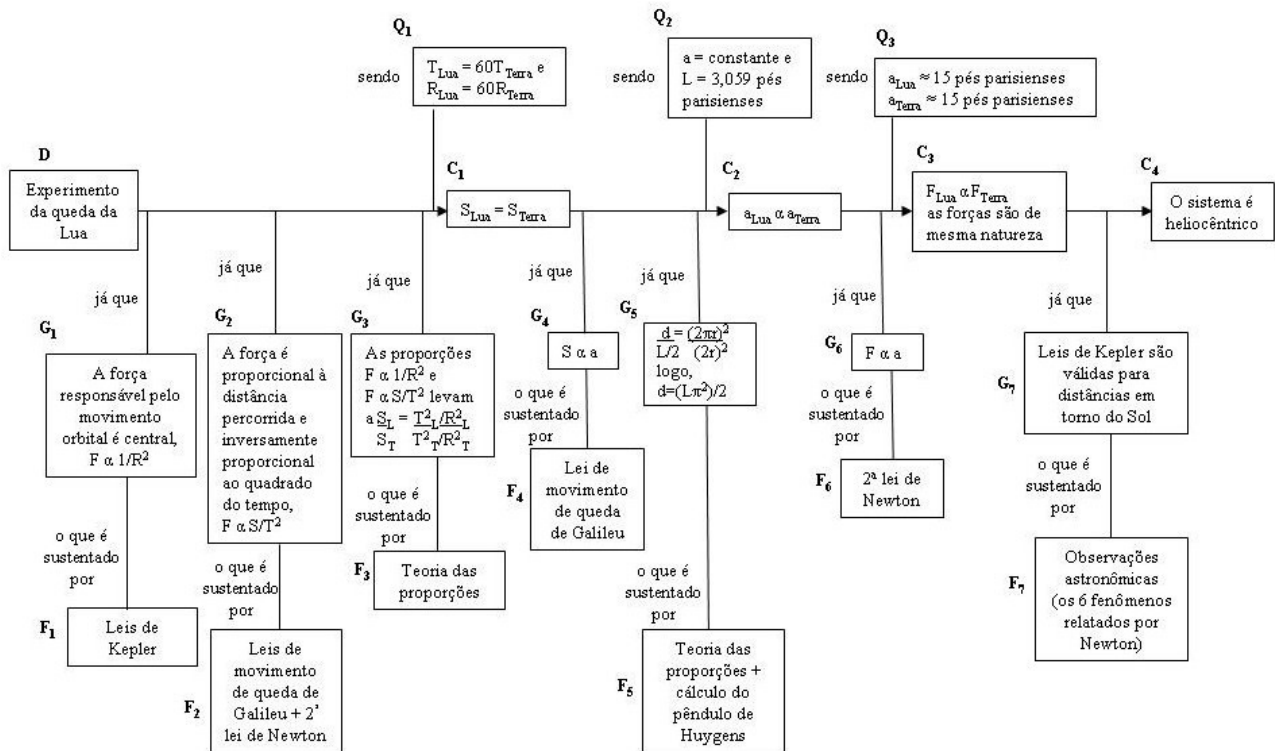
Mapa da 2ª aula (realizada em 01/06/2007). Tema: o argumento da queda da lua e a síntese newtoniana.

Duração (h:m:s)	Atividade desenvolvida	Ações do professor e dos alunos	Comentários
Começo da aula: 20:30h. Esta atividade durou cerca de 5 min.	Apresentação e esclarecimento sobre a atividade a ser desenvolvida em sala.	O professor solicita que os alunos repitam os grupos da aula anterior para discutir o tema a partir do texto lido, orientando-se pelos três últimos itens do questionário, para fazer uma discussão coletiva com a apresentação dos resultados de cada grupo. Os alunos o fazem.	Esta foi uma aula extra e houve uma pequena redução na frequência. Os grupos da aula anterior se repetiram, mas com algumas mesclas ficando 5 grupos com 4 alunos em cada grupo em média.
Cerca de 35min.	Discussão em grupos.	Os alunos realizam a discussão usando o texto como base e respondendo aos itens 4, 5 e 6 do questionário.	
00:00:01	Discussão entre os grupos mediada pelo professor. Episódio V (entre 00:00:26 e 00:24:49). Episódio VI (entre 00:24:50 e 00:32:24). Episódio VII (entre 00:32:25 e 00:39:52).	O professor, repetindo o procedimento da aula anterior, abre a discussão. Pede que cada grupo relate os resultados da discussão (as respostas aos itens 4, 5 e 6 do questionário) para a posterior discussão coletiva mediada pelo professor. Um a um, os três últimos itens do questionário são discutidos.	A gravação foi feita somente em áudio e começou a partir deste momento. O áudio-gravador é colocado próximo à quem fala. Em média, dois ou três alunos falam pelo seu grupo. Os demais, atentos. Os Episódios V, VI e VII constam das discussões sobre os itens 4, 5 e 6, respectivamente.
00:39:52			
00:39:53	Discussão geral sobre problemas do ensino de Física	O professor, ao encerrar a discussão referente ao Episódio VII , comenta sobre a importância do ensino da gravitação universal. Isto gera uma discussão com os alunos sobre problemas no ensino de Física em geral.	Esta parte da atividade não foi planejada, ocorrendo espontaneamente e, embora relevante, não é objeto de análise neste trabalho, pois não faz parte das questões de pesquisa aqui propostas.
00:51:46			
00:51:47	Encerramento da atividade.	O professor encerra a atividade e marca a entrega da demonstração da força centrípeta.	Esta demonstração conta como avaliação da disciplina.
00:51:58			

Análises

A seguir, serão apresentadas as análises dos episódios, referentes à qualidade da argumentação gerada pelas discussões em grupos e entre os grupos com mediação do professor. Os referidos episódios, contendo os turnos de fala, encontram-se em anexo. Após a análise de cada episódio são apresentados os esquemas representativos dos argumentos construídos coletivamente, conforme o modelo de Toulmin (Toulmin, 1958/2006). Este modelo será utilizado como instrumento referência para análise da qualidade da argumentação. Assim, será assumida como qualidade da argumentação a correspondência entre a estrutura dos argumentos dos alunos conforme analisada pelos pesquisadores e o modelo teórico de Toulmin.

Antes, porém, é apresentada abaixo uma representação do esquema de Toulmin referente à argumentação dos pesquisadores, autores deste trabalho, sobre o tema das atividades relatadas nesta investigação (“O argumento da queda da Lua e a síntese newtoniana”), argumentação esta, que foi baseada na leitura feita pelos pesquisadores do texto (Freire, Matos e Valle, 2004) usado em tais atividades. Esta representação foi construída a partir de discussões entre os pesquisadores e tem a finalidade de auxiliar, através de comparação, na avaliação dos argumentos construídos coletivamente em cada episódio de ensino analisado. Como se trata de uma representação, que sempre tem um viés interpretativo, não tem a pretensão de ser única, exaustiva, definitiva nem exata, mas apenas um instrumento a mais para auxiliar os autores no processo de análise.



Esquema de Toulmin para a argumentação dos autores referente ao tema "O argumento da queda da Lua e a síntese newtoniana", baseada no texto de FREIRE, MATOS e VALLE (2004).

Para aclarar mais esta representação, pode-se tomar como exemplo o primeiro trecho do argumento que corresponde à primeira conclusão de Newton na explanação da Proposição IV, a saber: partindo da experiência mental de que a Lua, subitamente destituída de seu movimento tangencial em torno da Terra, cai em direção a esta, pode-se concluir que a distância de queda da Lua à altura de sua órbita em um minuto é igual à distância de queda da Lua à altura de um raio da Terra em um segundo. Três garantias permitem esta passagem (do dado **D**, à conclusão **C₁**): (i) a assunção hipotética de que a força que mantém o movimento orbital da Lua em torno da Terra é central, o que significa que esta força é inversamente proporcional ao quadrado da distância, podendo ser expressa na forma $F \propto 1/R^2$. As três leis planetárias de Kepler dão sustentação a esta hipótese; (ii) a afirmativa de que esta força é proporcional à distância e inversamente proporcional ao quadrado do tempo, o que pode ser expresso na forma $F \propto S/T^2$. A lei de movimento de queda de Galileu e a segunda lei de Newton dão fundamentação a esta afirmativa; (iii) o resultado de que as proporções anteriores levam à expressão $S_L/S_T = T_L^2/R_L^2/T_T^2/R_T^2$, o que é permitido deduzir pela teoria das proporções. Por fim, a conclusão é validada ainda pela condição de que o tempo de queda da Lua a partir de sua órbita (1 minuto) é igual a sessenta vezes o tempo de queda da Lua à distância de um raio terrestre (1 segundo) e o raio da órbita da Lua em relação à Terra é, coincidentemente, também sessenta vezes o raio da Terra. Esta coincidência ajudou Newton a fazer os cálculos que o conduziram à conclusão **C₁**.

Discussão interna de um dos grupos sobre os três primeiros itens do questionário

Conforme consta no mapa da 1ª aula, antes das discussões entre os grupos com mediação do professor ocorreu um período (cerca de 48 minutos) de discussão em grupo, no qual, os membros de cada grupo puderam debater internamente sobre o tema da aula, a partir do texto lido (Freire, Matos e Valle, 2004), sendo orientados pelos três primeiros itens do questionário. O Episódio I (tabela em anexo) foi extraído de um trecho da discussão interna que ocorreu em um dos grupos (o que foi filmado) e durou 8 minutos e 41 segundos. Dos cinco alunos que compunham o grupo, dois deles (A22 e A23) praticamente não participaram da discussão tomando uma posição de espectadores no grupo; um deles (A1) assumiu espontaneamente a postura de líder do grupo tomando a frente da

condução das discussões; fazendo anotações para a apresentação do relato do grupo à turma, quando da discussão entre os grupos; lendo em voz alta trechos do texto quando a discussão requisitava; e explicando o assunto aos demais. Quando lhe faltava a compreensão de alguma parte do assunto, este aluno assumia isto para o grupo e solicitava ajuda. Durante a discussão entre os grupos, A1 foi também quem mais falou pelo seu grupo, embora não tivesse sido o único. Os dois outros membros (A2 e A21) assumiram espontaneamente a postura de ajudantes de A1, auxiliando-o nas explicações através de breves comentários, sobretudo quando este solicitava por não ter compreendido bem algum aspecto do assunto.

O aluno A1 inicia a discussão explicando o Passo 1⁶ do texto (ver Freire, Matos e Valle, 2004) se apoiando no mesmo, enquanto que os demais somente escutam, com exceção de A21 que faz um breve comentário auxiliando A1 na explicação. O aluno A1 segue para o Passo 2 quando, ao demonstrar pouco entendimento, A2 interfere fazendo uma síntese de como achar a aceleração a partir dos dados encontrados no texto. Há uma ligeira discordância entre A1 e A2, quando o aluno A21 intervém em favor de A1 e chegam a um consenso. Após um breve tempo de dispersão, passam a conferir os cálculos que já tinham feito. O aluno A22, então, solicita a A1 uma nova explicação do Passo 1, pois não havia compreendido. A explicação é feita por A1 com mais cuidado e apoiada no texto, enquanto os outros observam com atenção. Daí, se voltam novamente para o Passo 2 com A1 lendo o texto e tentando reconstruir as contas do mesmo.

Percebeu-se que os alunos estavam, na maior parte da discussão, mais preocupados com a compreensão dos 3 Passos do texto, do que com a solução dos itens do questionário. Somente aos doze minutos de discussão, A1 solicita e lê em voz alta o segundo item do questionário, que é discutido com uma pequena divergência inicial, mas resolvida por consenso. Por volta dos 18 minutos, A21 e, em seguida, A2 fazem leitura em voz alta do primeiro item e passam a discuti-lo. Conjuntamente, estes dois alunos respondem à questão complementando suas respostas. Após um período de conversas fora do assunto, o aluno A1 retoma suas contas revelando ter dificuldades de colocar no texto o relato com as respostas do grupo, bem como, dificuldades de compreensão com o Passo 2 em função da linguagem do texto neste trecho. Num determinado momento, mostra ter um ‘*insight*’ para uma dúvida, expõe para o grupo e pede confirmação dos ‘ajudantes’ A2 e A21, que o fazem. Retoma o texto e todos voltam à leitura silenciosa: A22 e A23 conjuntamente, A2 e A21 idem e A1 sozinho. A2 demonstra ter um entendimento do Passo 2 e passa a explicar a A21, que mostra dúvidas. Nesse instante, próximo aos 26 minutos, inicia-se uma divergência de compreensão e um debate entre A2 e A21, relativa ao Passo 2. Este foi o principal conflito que ocorreu na discussão deste grupo e, por isso, constituiu o Episódio I (discutido com mais detalhes adiante). Curiosamente, neste Episódio os alunos A2 e A21 polarizam a discussão e A1 tem pouca participação, diferentemente do que vinha acontecendo até este momento. Ao final deste Episódio – resolvido por consenso – e após alguns minutos de conversas paralelas (neste tempo, somente A1 fica lendo o texto em silêncio), A1 chama o grupo para discussão do Passo 3, demonstrando dificuldades com o mesmo. Voltam a ler em silêncio e aos pares, com A1 sozinho. Após um tempo, A1 passa a ler o texto para o grupo, fazendo anotações e revelando que não compreendeu. Em seguida, após pouco mais de 48 minutos, o professor encerra esta parte da atividade e convoca os alunos a re-arrumarem a sala em ‘grande roda’ para a discussão coletiva.

⁶ Trata-se dos passos que Newton segue no texto: Passo 1 - sem recorrer à expressão algébrica da aceleração, Newton calculou a distância que a Lua cairia em direção à Terra no tempo de 1 minuto, caso fosse privada de seu movimento tangencial; Passo 2 - assumindo que a força entre a Lua e a Terra é inversamente proporcional ao quadrado da distância, Newton define S_L e S_T e utilizando a proporcionalidade $S \propto T^2/R^2$, conclui que $S_L = S_T$; Passo 3 - recorrendo ao pêndulo de Huygens, Newton calcula a distância S_T e encontra um valor concordante com a conclusão do passo 2.

Episódio I – O significado das distâncias S_L e S_T^7

O aluno A2 inicia a discussão explicando que o objetivo do Passo 2 é provar que $S_L = S_T$. No seu argumento, parece não ter compreendido o significado das distâncias S_L e S_T , uma vez que não inclui a redução do tempo feita por Newton, de um minuto para um segundo (ver nota de rodapé 7). Este aluno confunde esta redução com uma simples transformação de unidades de um minuto para sessenta segundos, como forma de justificar a simplificação que Newton fez nos cálculos. O aluno A21 discorda de A2 e mostra ter compreendido o significado das distâncias e a redução feita, portanto, diferentemente de A2, parece ter entendido o Passo 2. Entretanto, o aluno A21 não percebeu no texto que o tempo estava elevado ao quadrado, não conseguindo justificar a simplificação, tendo sido auxiliado por A2. No final do episódio, ambos concordam e chegam a um consenso sobre como foi efetuada a simplificação. A postura dos dois alunos neste episódio foi colaborativa resolvendo o conflito por consenso, havendo também uma atitude de ajuda mútua para a compreensão do texto.

Notou-se, na discussão interna deste grupo, uma atitude colaborativa por parte dos estudantes envolvidos na discussão, visto que, os dois alunos que assumiram o papel de ajudantes, o fizeram para contribuir com a discussão, auxiliar nas explicações para o entendimento dos demais e apoiar o que assumiu o papel de líder. Este, por sua vez, embora tenha adotado tal função, não o fez com autoritarismo, assumindo as dificuldades de entendimento e solicitando ajuda quando diante das mesmas. Por fim, mesmo quando ocorreu o maior conflito, registrado no Episódio I, a solução ocorreu por consenso mostrando uma atitude colaborativa do grupo. Assim, o tipo de interação (neste caso, colaborativa) entre os estudantes de um grupo parece interferir no processo de elaboração do argumento, resultado similar foi encontrado por Albe (2008). Vale esclarecer, que as posturas adotadas espontaneamente pelos membros do grupo (líder, ajudantes e espectadores) não foram assumidas explicitamente por eles, mas foram detectadas pelos pesquisadores no processo de análise do vídeo e da sua transcrição.

Discussão entre os grupos

Episódio II – Como Newton comparou a aceleração da Lua em sua órbita com a aceleração da gravidade na superfície da Terra? Quais os artifícios que ele utilizou para isso?

Na discussão do Episódio II (tabela em anexo) o primeiro grupo, através do aluno A1, esboça uma resposta, mesmo de forma incompleta e um tanto confusa, argumentando que Newton se volta para a geometria (o que pode ser interpretado como uma **garantia**) para descrever a idealizada queda da Lua. O argumento do aluno é que Newton usa a relação de proporcionalidade $F \propto S/T^2$ para chegar, na forma de **conclusão**, à expressão da aceleração. O aluno A2, complementando a resposta, cita a relação $F \propto 1/R^2$ como um **dado** que Newton usou para chegar à **conclusão** de que as acelerações a_{Lua} e a_{Terra} (respectivamente, a aceleração centrípeta da Lua e a aceleração na superfície da Terra) são proporcionais. O aluno fala sobre a redução do tempo de queda da Lua (de um minuto para um segundo) como quem usa um **qualificador**, como uma condição específica que Newton impôs artificialmente para chegar à conclusão de que as acelerações são proporcionais. O professor avaliou sucintamente como boa, a resposta, numa interação do tipo I-R-A.

O segundo grupo concorda com a resposta do grupo anterior complementando-a com uma explicação sobre o artifício de Newton em usar o tempo de 60 segundos, como o tempo de queda, para facilitar os cálculos, visto que 60 é também o número de vezes o raio da Terra que corresponde

⁷ S_L e S_T são, respectivamente, a distância de queda da Lua à altura de sua órbita **em um minuto** e a distância de queda da Lua à altura de um raio da Terra **em um segundo**, no experimento idealizado da ‘queda da Lua’ de Newton, conforme encontrado em Freire, Matos e Valle (2004).

à distância da Terra à Lua. Conforme assumido por Newton em seu experimento, no momento de estabelecer a razão T^2/R^2 (onde, T é o tempo de queda da Lua a partir da altura de sua órbita e R a distância da órbita da Lua em relação à Terra) fica fácil a simplificação dividindo-se o numerador e o denominador por 60. O aluno A8 chega a afirmar que a relação entre as distâncias de queda da Lua na órbita em um minuto e na superfície da Terra em um segundo (S_L e S_T), bem como, os raios da órbita da Lua e da Terra (R_L e R_T) – que não tinha sido citada claramente pelo grupo anterior – levam à **conclusão** de que $F \propto 1/T^2$. A conclusão do aluno não está correta, pois esta proporcionalidade não existe, e mesmo que ele estivesse querendo se referir à $F \propto S/T^2$, que aparece no texto, esta é obtida a partir da lei da queda livre de Galileu conjuntamente com a segunda lei de Newton. A relação $R_L = 60R_T$ é uma condição específica que leva à proporcionalidade entre as acelerações e não conduz à proporção referida pelo aluno. Aqui, a interação também foi do tipo I-R-A.

A terceira equipe trás a discussão sobre a simplificação feita devido essa transformação de minuto para segundo e a semelhança entre as relações ($1\text{min} = 60\text{s}$ e $R_L = 60 R_T$). O aluno A14 argumenta que o fato da proporção $1\text{min}/60\text{s}$ ser a mesma para o raio da Terra/órbita da Lua (o que serviu como um elemento simplificador nos cálculos de Newton) tratou-se de uma coincidência que, caso não ocorresse (**refutador**) Newton não chegaria à **conclusão** (de que $S_L = S_T$).

O professor mantém a palavra com o terceiro grupo e o aluno A10 lança o argumento das proporcionalidades $F \propto 1/R^2$ e $F \propto S/T^2$ como **garantias** que justificam a conclusão de que a distância de queda da Lua em um minuto na sua órbita é igual à distância de queda da Lua na superfície da Terra em um segundo. O professor, ao avaliar as respostas, salienta que, até então, os grupos deram duas respostas distintas para a questão da simplificação acima referida: uma delas atribui a uma coincidência numérica da proporcionalidade $R_{\text{Terra}}/R_{\text{Lua}} : 1/60$; a outra, afirma que a simplificação depende de Newton ter adotado as proporcionalidades $F \propto 1/R^2$ e $F \propto S/T^2$. As duas respostas estão corretas e são complementares, posto que de fato existe a coincidência e, para fazer a simplificação, Newton usou as proporções acima. A interação que ocorreu foi do tipo I-R-P-R-A.

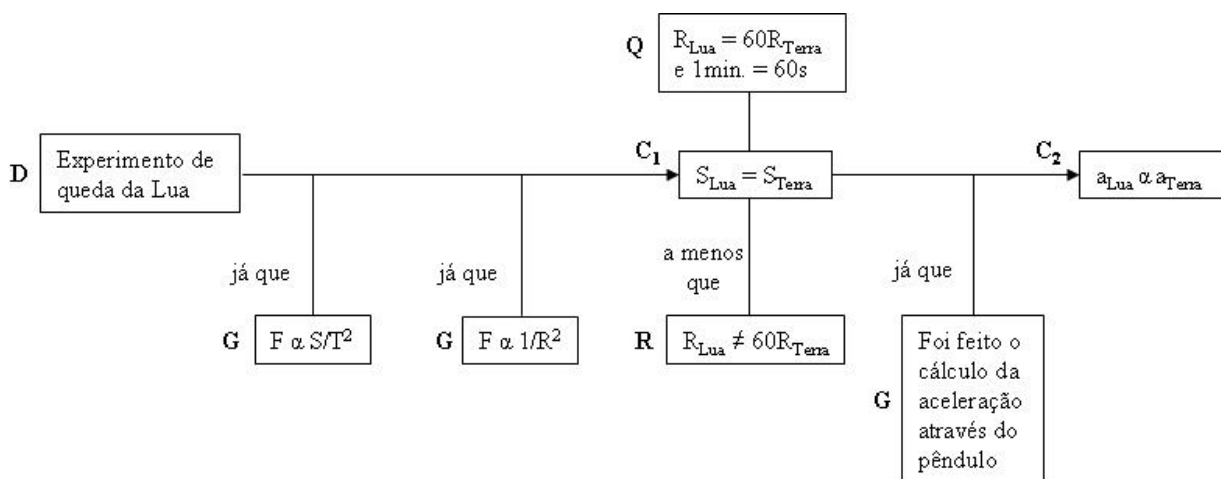
A quarta equipe foi a primeira a citar a utilização do pêndulo de Huygens para a obtenção da aceleração da gravidade na superfície da Terra. Considerando que esse passo é fundamental para a comparação entre as acelerações da Lua na altura da órbita e na superfície da Terra, vê-se que as respostas das equipes anteriores ficaram incompletas. O aluno A15 se refere a como Newton obteve a aceleração na superfície da Terra, com a utilização do pêndulo de Huygens como mais uma **garantia** para fazer a comparação, na suposta experiência da queda da Lua. O professor, ao dar um “feedback”, chama atenção para o fato de só uma equipe ter feito referência ao papel do pêndulo de Huygens no cálculo do valor da gravidade. Vale salientar que o cálculo da aceleração gravitacional de um corpo na superfície da Terra fora feita, pela primeira vez de maneira precisa, por Huygens através do pêndulo, portanto era o mais confiável da época, daí, a sua utilização por Newton. A interação que ocorreu foi do tipo I-R-F-R-A.

No grupo seguinte, o aluno A16 faz um discurso bem elaborado no qual apresenta o argumento de que a proporção $R_{\text{Terra}}/R_{\text{Lua}} : 1/60$ leva à **conclusão** de que as acelerações a_{Lua} e a_{Terra} são proporcionais. O mesmo aluno assume esta **conclusão** como um **dado** para se chegar a uma outra **conclusão**: a de que F_{Lua} é a mesma F_{Terra} . Em seguida, o aluno põe como argumento **refutador** que caso estas forças não fossem a mesma, deveria haver uma outra atuando sobre a Lua além da gravitacional, entretanto, não há evidência alguma da existência de tal força. Ainda, no mesmo grupo, o aluno A6 faz uma argumentação de forma mais elaborada que é nitidamente embasada no texto e em discussões anteriores, conforme se pode verificar nos grifos do turno 16 (em um momento o aluno se refere ao texto para construir seu argumento e, em outro, cita explicitamente falas anteriores feitas pelo professor). O aluno apresenta a **conclusão** de que a causa que faz com que os corpos caiam na superfície da Terra é a mesma que mantém a Lua em sua

órbita, dizendo que se não se tratasse da mesma causa, os resultados não concordariam com os cálculos nem com a experiência (retomando o argumento **refutador** do aluno A16).

O professor faz uma avaliação mais detalhada da discussão dos grupos, mostrando que as respostas dos primeiros grupos estavam incompletas, pois não se referiam ao valor da aceleração aqui na Terra, encontrado com o auxílio do pêndulo de Huygens. Mas, no decorrer da discussão, as outras equipes complementaram as respostas e ele avalia de forma satisfatória a resposta da turma. Em seguida, reforça a resposta dando um “feedback” e comenta sobre a questão da coincidência numérica (que dominou boa parte da discussão) enfatizando que, mesmo que não houvesse essa coincidência, Newton obteria o mesmo resultado, com um pouco mais de trabalho. A interação foi do tipo I-R-A.

Comparando o esquema abaixo com o dos autores, nota-se que a argumentação construída coletivamente neste Episódio concorda em grande parte com aquela, pois apresenta corretamente duas das garantias e um qualificador, também apresentado por aqueles, chegando à mesma conclusão C_1 . Apresenta também a garantia que leva corretamente à conclusão C_2 , embora no esquema dos autores isto esteja detalhado em dois componentes garantia e fundamento. Entretanto, esta argumentação diminui sua qualidade por não apresentar nenhum fundamento, além de faltar duas garantias (G_3 e G_4 , no esquema dos autores) e o qualificador relativo à C_2 .



Esquema de Toulmin para a argumentação construída coletivamente referente ao Episódio II

No Episódio III, “Que argumentos Newton utilizou para justificar a adoção de uma força proporcional ao inverso do quadrado da distância?”, não foram encontrados elementos suficientes para se fazer uma análise dos argumentos, ao menos segundo o modelo de Toulmin, por este motivo este Episódio foi excluído da presente análise.

Episódio IV – Qual o principal obstáculo enfrentado por Newton para introduzir a idéia de uma força gravitacional de ação à distância? Que saída ele encontrou para minimizar o problema?

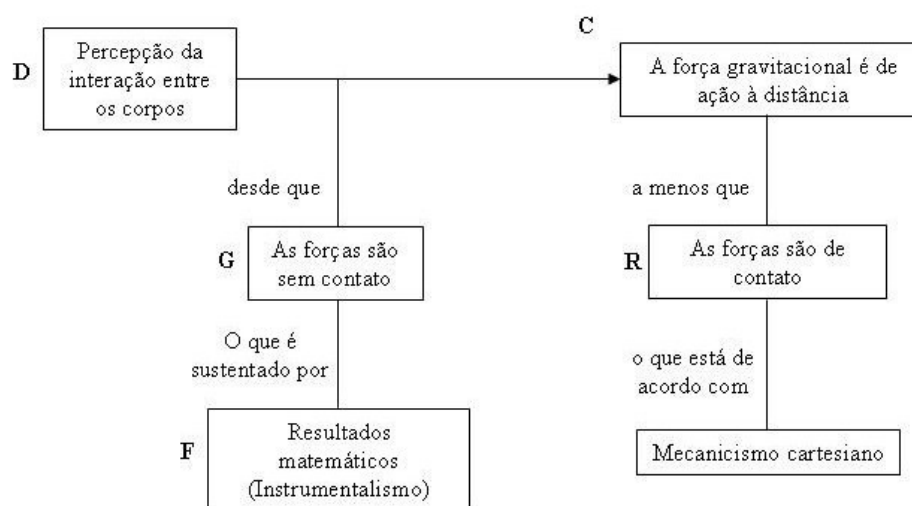
No Episódio IV (tabela em anexo) o aluno A12 usa um argumento competente⁸ de que o principal obstáculo enfrentado por Newton para introduzir a idéia de ação à distância era propor a existência de uma força que atua sem contato entre os corpos em interação, o que encontrou forte oposição por parte dos seus adversários. Sabe-se que as tradições de sua época (mecanicismo cartesiano), só admitiam a possibilidade de forças mecânicas atuando através de contato entre os corpos. O argumento do aluno pontua, ainda, que a estratégia adotada por Newton para superar as

⁸ O termo competente é empregado aqui no sentido de concordância com o argumento do texto, conforme entendimento dos pesquisadores.

críticas dos mecanicistas cartesianos foi se apoiar na força dos resultados matemáticos que davam sustentação à sua idéia, em vez de tentar encontrar evidências empíricas da ação à distância, assumindo, assim, uma postura instrumentalista. O aluno A11, ao citar explicitamente “mecanicistas e instrumentalistas”, parece demonstrar um entendimento conceitual destes termos, visto que discussões explícitas sobre estes conceitos epistemológicos haviam sido feitas em aulas anteriores e o aluno fez uso apropriado dos mesmos para avaliar a conduta de Newton e de seus adversários. A interação que ocorreu foi do tipo I-R-A.

O professor dá-se por satisfeito com os argumentos dos alunos avaliando a resposta como perfeita e faz um comentário adicional sobre a dificuldade de Newton frente ao debate com os cartesianos (mecanicistas), citando a sua famosa frase “não faço hipóteses”, como justificativa para a sua atitude instrumentalista. Com esta frase Newton queria dizer que a idéia de ação à distância (força sem contato) não era uma hipótese que ele estava supondo para ser testada empiricamente, e sim uma idéia que tinha forte sustentação matemática, logo deveria ser aceita.

Desta forma, pode se avaliar, usando os termos da estrutura de Toulmin, que o argumento construído pelos alunos e professor aponta para o entendimento de que a **conclusão** de Newton de que a força gravitacional é de ação à distância, é **garantida** pela idéia de força sem contato, o que, por sua vez, tem **fundamentação** nos resultados matemáticos sem apelo às provas empíricas (postura instrumentalista). Por outro lado, parece ter havido o entendimento também de que tal **conclusão** estava sendo **refutada** pelos mecanicistas cartesianos que acreditavam que as forças mecânicas eram de contato.



Esquema de Toulmin para a argumentação construída coletivamente referente ao Episódio IV.

Episódio V - O que você entende por síntese newtoniana? Qual a importância e implicações dessa síntese?

Pode-se perceber no Episódio V (tabela em anexo) que o primeiro grupo apresenta uma boa argumentação resumindo o que se entende por síntese newtoniana, sem apresentar incorreções. O aluno A4 usa o argumento da força centrípeta, que gera órbita elíptica dos planetas em torno do Sol, ser de mesma natureza da força que atrai os corpos na superfície terrestre, como **garantia** para o estudo conjunto das físicas celeste e terrestre. Contudo, o argumento não pontua a importância nem as implicações dessa síntese, mostrando-se, portanto, incompleto. No discurso do aluno A4, representando seu grupo, também não aparece nenhuma indicação direta de relação entre o próprio argumento e o texto usado na atividade. A interação manifestada foi do tipo I-R-A.

No grupo seguinte a resposta foi manifestada por três dos seus membros. O primeiro apenas corrobora o argumento da equipe anterior e os demais complementam a resposta com uma argumentação correta, apontando uma das implicações da síntese: a ruptura com o pensamento mecanicista de que as forças atuam por contato. O aluno A6 usa um argumento **refutador**: forças sobre os corpos celestes e terrestres tendo naturezas diferentes eliminam a idéia de que os movimentos tenham a mesma natureza. Aparece aqui, nos trechos sublinhados do turno 05, menções diretas ao texto, manifestadas pelo experimento de queda da Lua e pela concepção mecanicista, na construção do argumento do aluno A6. A interação foi do tipo I-R-A.

Os dois grupos seguintes simplesmente corroboram o que já foi dito pelos grupos anteriores usando argumentações, embora sem incorreções, excessivamente genéricas e sumárias. Interações do tipo I-R-P-R e I-R.

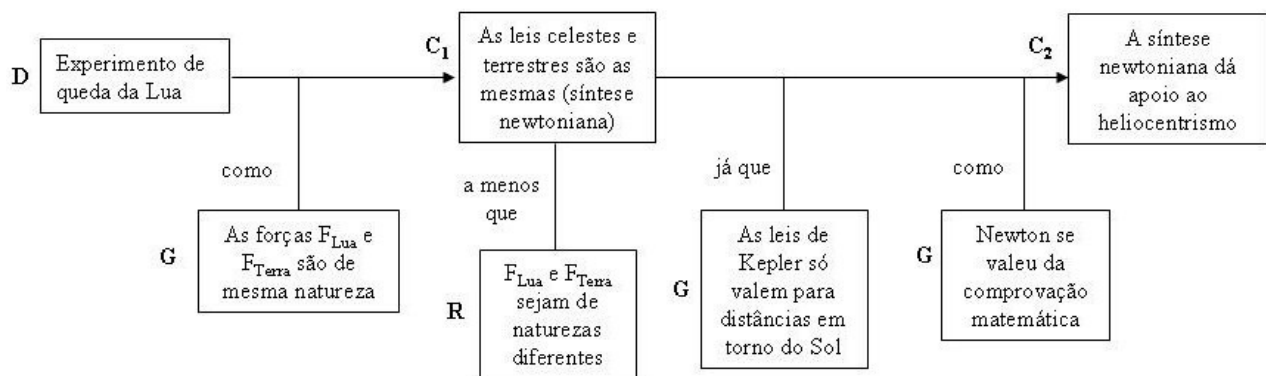
O último grupo apresenta uma argumentação também competente e reforça o argumento do segundo grupo quanto ao papel da síntese newtoniana na ruptura com a idéia de força de contato e acrescenta, à argumentação geral coletiva, a importância da síntese newtoniana como apoio ao heliocentrismo. Usa o argumento da comprovação matemática como **garantia** para o apoio da síntese newtoniana ao heliocentrismo. No trecho sublinhado do turno 16 nota-se uma influência direta do texto na construção da argumentação do aluno A11, ao fazer menção ao papel do trabalho de Kepler na síntese newtoniana conforme consta no texto. O aluno aponta, na sua argumentação, o fato de que o movimento dos planetas somente obedece às leis de Kepler se forem tomadas as distâncias dos planetas em relação ao Sol, como **garantia** da síntese newtoniana para o apoio ao heliocentrismo. Interação do tipo I-R-A.

Assim, os alunos constroem a argumentação de que o fato da força centrípeta nos planetas ser de mesma natureza da força na superfície terrestre, ao tempo em que **refuta** a idéia de que os movimentos dos corpos celestes são diferentes, em natureza, do movimento dos corpos na Terra (idéia herdada do pensamento aristotélico), **garante** o estudo conjunto das físicas celeste e terrestre, o que constitui o que se chama de síntese newtoniana. Por sua vez, essa síntese tem duas implicações: (i) apoio ao modelo heliocêntrico, ao mesmo tempo em que rompe com o modelo geocêntrico, o que é **garantido** por comprovações matemáticas e pela evidência de que o movimento dos planetas em torno do Sol está em acordo nas leis de Kepler, o que não ocorre com o movimento dos planetas em torno da Terra; (ii) ruptura com a idéia de que as forças somente atuam quando em contato com os corpos (idéia própria do mecanicismo vigente na época de Newton), conforme igualmente encontrado em Freire, Matos e Valle (2004).

Ao final, o professor faz uma síntese das contribuições dos grupos dando-se por satisfeito com o argumento coletivo. Percebe-se, assim, o papel das contribuições de cada grupo em que as informações vão se agregando na construção de um discurso coletivo competente. Percebe-se também que os argumentos mais consistentes estavam embasados no texto, o que reforça também o papel deste na construção do discurso (vide turnos 05 e 16). Chama-se atenção para o fato de que a interação em que ocorreu a cadeia mais prolongada foi com um dos grupos que deram menor contribuição na construção da argumentação geral (vide turnos 08 a 11).

Ao comparar o esquema abaixo com o dos autores, nota-se uma diferença na forma como a argumentação foi construída. A interpretação dos autores é que a conclusão a que Newton chega, segundo o texto, é que as forças F_{Lua} e F_{Terra} são proporcionais (C_3), logo são de mesma natureza, o que é garantido pela proporção $F \propto a$, sustentada pela 2ª lei de Newton; por sua vez, o esquema abaixo apresenta a idéia de que tais forças são proporcionais como garantia para a conclusão de que as leis de movimento celestes e terrestres são as mesmas. Esta diferença não significa uma incorreção, mas formas distintas de argumentar corretamente este trecho. No segundo trecho da argumentação, a garantia apresentada aqui confere com a dos autores (G_7), levando à mesma

conclusão. Contudo, no esquema abaixo, igualmente não aparecem os fundamentos nem o qualificador (Q₃), tornando esta argumentação incompleta do ponto de vista do modelo de Toulmin.



Esquema de Toulmin para a argumentação construída coletivamente referente ao Episódio V

Episódio VI - Que argumentos Newton utiliza para adotar o sistema heliocêntrico?

No Episódio VI (tabela em anexo) pode-se perceber que o argumento do aluno A1, embora não apresente incorreções, está incompleto, pois apenas cita o uso que Newton faz das leis de Kepler que, para serem válidas, dependem de que a força seja central. O aluno faz menção direta ao texto e aponta a interdependência entre leis de Kepler e força central como **garantia** para adoção do sistema heliocêntrico por Newton. Uma complementação é feita pelo aluno A2, do mesmo grupo, que corrobora o argumento de A1 colocando que se o sistema fosse geocêntrico, a interdependência entre as leis de Kepler e a força central não se verificaria. A interação existente é do tipo I-R.

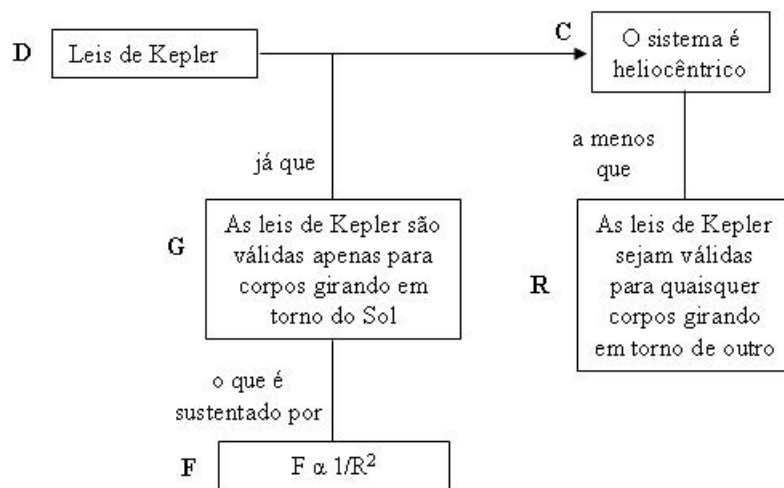
O segundo grupo concorda com os argumentos do primeiro, mas sem acrescentar algo relevante à argumentação coletiva apesar da interação ser do tipo I-R-P-R-A (por esta razão, estes turnos foram suprimidos da tabela). Em seguida houve uma discussão com a participação não somente dos dois grupos restantes, mas também do segundo grupo que, inicialmente não tinha acrescentado nada relevante e passou a contribuir significativamente, gerando uma longa cadeia de interação do tipo I-R-P-R-P-R-A.

O aluno A11 (turno 08) especifica, com embasamento no texto, a 3ª lei de Kepler como **garantia** para o sistema heliocêntrico. O aluno A4 complementa o argumento, embasando-se no texto, usando a força central do tipo $1/R^2$ como **fundamento** de que a 1ª lei de Kepler é válida, ou seja, que corpos orbitando em trajetórias elípticas (1ª lei) são agidos por uma força central (do tipo $1/R^2$), citando que Newton já havia comprovado isto no Livro I dos '*Principia*'. Assim, os grupos estão se baseando nas leis de Kepler, uma vez que fossem tomadas as distâncias dos planetas em relação ao Sol, como **garantias** para a adoção do sistema heliocêntrico por Newton e tomando a hipótese deste (de que a força que mantém os planetas em órbita é do tipo $1/R^2$) como **fundamento** para sustentar o uso das leis de Kepler.

Foi ainda apresentado um argumento **refutador**. O aluno A13 argumenta que, na época de Newton, não havia razões para se crer que as leis de Kepler valessem somente para planetas em torno do Sol, mas para qualquer corpo girando em torno de outro, por isso não se pode dizer que se tratava de prova irrefutável a favor do heliocentrismo. De fato, as leis de Kepler valem para quaisquer corpos orbitando em torno de outro, mas o argumento de Newton era de que os fenômenos observáveis mostravam que as trajetórias planetárias somente correspondiam às leis de Kepler, tomando-se as distâncias dos planetas ao Sol e não correspondiam a tais leis quando se tomava a distância em relação à Terra, o que corroborava assim o modelo heliocêntrico (Freire, Matos e Valle, 2004). O argumento de Newton não foi percebido pelo aluno. Ainda assim, por levantar razões históricas, o argumento do aluno foi considerado pelo professor ao se reportar, no

seu discurso final (turno 12), à possibilidade da argumentação não ser caracterizada como prova irrefutável em função de que, na época, poderia haver a adoção de outro modelo, que não o heliocêntrico, que também se ajustasse às leis de Kepler. Assim, o professor contempla a argumentação do aluno como sendo plausível por razões de natureza histórica. Novamente aqui, percebe-se o papel das contribuições de cada grupo ao agregar novos discursos na construção de um argumento coletivo. Percebe-se igualmente a conexão entre os argumentos mais consistentes e os respectivos embasamentos no texto.

Fazendo uma comparação com o esquema dos autores, nota-se que a argumentação construída aqui, representada no esquema abaixo, apresenta uma garantia que está de acordo com a dos autores (G₇) para chegar à mesma conclusão. Entretanto, Newton sustenta a idéia de que as leis de Kepler são válidas para corpos girando em torno do Sol, nas observações planetárias (os seis fenômenos descritos por ele) e não na proporção $F \propto 1/R^2$. Na verdade, a idéia de que a força é inversamente proporcional ao quadrado da distância, como proposto por Newton, é fundamentada nas leis de Kepler, que já eram bem aceitas na época (ver primeiro trecho do esquema dos autores) e não o contrário, como sugere o esquema abaixo.



Esquema de Toulmin para a argumentação construída coletivamente referente ao Episódio VI

Episódio VII - Que conclusões você chega sobre o trabalho de Newton depois da leitura do artigo e da atividade em classe?

Conforme Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick (2006), Munford e Zembal-Saul (2002), bem como Jiménez-Aleixandre et al. (2000_{a,b}), um dos benefícios da estratégia de ensino de ciências focada no desenvolvimento da argumentação é propiciar aos estudantes a oportunidade deles aprenderem não somente o conteúdo da ciência, mas também desenvolver a capacidade de análise sobre a ciência, compreendendo esta como parte da cultura. Esta perspectiva parece sustentar, em parte, os resultados aqui encontrados, ao analisar os argumentos dos alunos no Episódio VII (tabela em anexo). Nota-se, aqui, o aparecimento, nos discursos dos alunos, de algumas visões sobre a natureza da ciência.

Por um lado, aparece uma visão tipicamente apoiada no positivismo, caracterizada pela crença na irrefutabilidade dos resultados por estarem “certos”, garantidos, uma vez demonstrados matematicamente. Aparece aí também uma visão cumulativa da ciência e a idéia do cientista “gênio” que, em função de esforço heróico, é capaz de mudar os rumos da ciência (por exemplo, turnos 06 a 08). Este tipo de visão sobre a ciência tem se mostrado muito comum entre estudantes de ciências, conforme relatado em vasta literatura sobre o assunto (Aikenhead, 1973; Lederman & O’malley, 1990; Lederman, 1992; Ryan & Aikenhead, 1992; Pomeroy, 1993; Roth & Roychondhury, 1994; Solomon et al., 1994; Abrams & Wandersee, 1995; Roth & Lucas, 1997;

Harres, 1999; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Moss et al., 2001). Assim, a despeito de não terem sido investigadas as visões dos participantes sobre a ciência antes das atividades, não é surpreendente que tais concepções surgissem, sobretudo por se tratarem de estudantes recém-ingressos na Universidade.

Por outro lado, aparecem também visões mais próximas de concepções pós-positivistas (Laudan, 2003; Mcevoy, 2007 e Rosa, 2006), em que a ciência é vista como tendo natureza conjectural, sem certezas nem provas irrefutáveis e construída a partir do trabalho coletivo e não de um único “gênio”. Ao analisar a argumentação do aluno A6 (turno 10), quando se refere explicitamente ao debate que ocorreu em sala durante as atividades para relatar as visões do grupo, pode-se perceber – ao menos para uma parte da turma – os benefícios igualmente apontados por Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick (2006), Munford e Zembal-Saul (2002) e Jiménez-Aleixandre et al. (2000_{a,b}), em termos de uma aproximação da visão destes alunos à concepções pós-positivistas. Tais benefícios podem ter sido propiciados pelas atividades desenvolvidas conjuntamente com a aposta feita na abordagem contextual implementada através do texto usado na atividade (de natureza histórica) e da estratégia usada pelo professor da disciplina, informando-a através da História e Filosofia da Ciência.

Conclusões e implicações

A análise mostra que a estrutura da argumentação de Toulmin se mostrou eficaz para analisar a qualidade da argumentação construída coletivamente em cada episódio, permitindo identificar os elementos da argumentação presentes no discurso dos alunos e, assim, avaliar em que medida estava em acordo com o argumento partilhado pela comunidade científica e presente nos textos didáticos sobre a síntese newtoniana. Os resultados apontaram que houve um papel fundamental das contribuições de cada grupo na construção de uma argumentação coletiva satisfatória, na medida em que os grupos foram gradualmente complementando o argumento coletivo com agregação de novas **garantias, fundamentos, qualificadores e refutadores**, o que acentua a importância das atividades para a construção social do conhecimento conforme também apontaram (Mortimer e Scott, 2002; Jiménez-Aleixandre et al., 2000_b; Abi-El-Mona e Abd-El-Khalick, 2006; Sutton, 2003; Driver et al., 1994; Erduran et al., 2004; Albe, 2008).

Entretanto, percebeu-se que houve uma limitação no argumento construído coletivamente pois, em geral, não eram apresentados os fundamentos para as garantias. Este resultado foi encontrado também por Krummheuer (2007) com alunos de escola primária. Os alunos somente apresentaram fundamentos em apenas dois dos episódios, sendo que um deles, referente ao Episódio IV, não está de acordo com o fundamento apresentado pelos pesquisadores. Esta ausência dos fundamentos nas argumentações dos alunos pode ser fruto de uma visão positivista sobre a ciência. A idéia dos alunos de ‘ciência baseada em certezas’ (conforme apareceu o Episódio VII, bem como em vasta literatura) e/ou sua confiança nas fórmulas matemáticas, pode ser interpretada como uma forma de compreender as garantias como pressupostos bem estabelecidos e aceitos sem necessidade de fundamentos. Entretanto, esta hipótese precisa ser melhor investigada.

Os resultados mostraram também, a importância do texto usado nas atividades para a qualidade da argumentação dos alunos, uma vez que os argumentos mais consistentes foram aqueles que estavam diretamente embasados nesse texto ou em discussões precedentes, o que aponta para um papel importante da abordagem contextual nessa argumentação. Como a discussão foi orientada por um questionário, poderia se considerar a possibilidade dos estudantes adotarem a atitude de procurar pragmaticamente no texto as respostas aos itens do questionário, em vez de fazer uma leitura mais consistente para depois responder às questões – atitude esta que é comum em estudantes de todos os níveis de ensino. Entretanto, a análise do Episódio I mostrou que os alunos do grupo filmado, estavam mais preocupados com a compreensão do texto do que em responder o

questionário. Isto contraria a possibilidade aventada acima. Além disso, o texto foi disponibilizado e lido antes das aulas, enquanto que o questionário somente foi apresentado aos estudantes no momento da atividade, portanto, sem que eles tomassem conhecimento prévio sobre o mesmo.

Percebeu-se também a possibilidade dos benefícios das atividades em propiciar uma reflexão sobre a ciência, aproximando a visão de parte dos alunos às concepções pós-positivistas. O texto usado nas atividades (de natureza histórica) e a estratégia adotada pelo professor, abordando o tema da aula através da História e Filosofia da Ciência, podem ter contribuído para o aparecimento destas concepções.

A análise mostra ainda que, através do instrumento de Mortimer e Scott (2002), foi possível fazer uma caracterização geral do conjunto dos episódios quanto ao desenvolvimento das atividades realizadas. Esta caracterização permitiu perceber mais claramente o papel do professor em promover a construção coletiva da argumentação possibilitando aos alunos “elicitando” os seus argumentos para a construção de uma explicação teórica sobre a síntese newtoniana, através de uma abordagem comunicativa que oscilava entre I/D, I/A e NI/A, com interações triádicas e não triádicas de modo que a intervenção possibilitou o compartilhamento coletivo dos constructos produzidos. Vale notar que as cadeias mais longas de interação (I-R-P-R-P... ou I-R-F-R-F...), quando ocorreram, não estavam necessariamente associadas a argumentações mais competentes e elaboradas do que quando ocorreram cadeias mais curtas (I-R-A).

Uma relevante indagação que surge deste trabalho é se há alguma relação entre a qualidade das argumentações produzidas pelos alunos coletivamente e a compreensão individual dos mesmos sobre os assuntos discutidos. Entretanto, este não foi o foco dos pesquisadores neste momento e se mostra como uma boa questão para pesquisas futuras.

Por fim, a despeito da importância de que estratégias de ensino através de argumentação sejam implementadas no ensino de ciências em todos os níveis, poucos trabalhos empíricos investigando esta temática no nível universitário têm sido relatados. Neste sentido, o presente trabalho pretende dar uma contribuição para pesquisas futuras.

Referências

- Abd-El-Khalick, F.; Lederman, N. (2000). Improving Science Teachers' Conceptions of Nature of Science: a Critical Review of the Literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- Abi-El-Mona, I.; Abd-El-Khalick, F. (2006). Argumentative Discourse in a High School Chemistry Classroom. *School Science and Mathematics*, 106(8), 349-361.
- Abrams, E.; Wandersee, J. (1995). How to Infuse Actual Scientific Research Practices into Science Classroom Instruction. *International Journal of Science Education*, 17(6), 683-694.
- Aikenhead, G. (1973). The Measurement of High School Students' Knowledge about Science and Scientists. *Science Education*, 57(4), 539-549.
- Albe, V. (2008). When Scientific Knowledge, Daily Life Experience, Epistemological and Social Considerations Intersect: Students' Argumentation in Group Discussions on a Socio-scientific Issue. *Research in Science Education*. 38(1), 67-90.
- Amaral, E.; Mortimer, E. (2006). Uma Metodologia para Análise da Dinâmica entre Zonas de um Perfil Conceitual no Discurso da Sala de Aula. In: SANTOS, F. e GRECA, I. (orgs.), *A Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas Metodologias* (pp. 239-296). Ijuí: Ed.Unijuí.

- Brown, R. (2007). Exploring the Social Positions that Students Construct within a Classroom Community of Practice. *International Journal of Educational Research*, 46(3-4), 116-128.
- Carvalho, A. (2006). Uma Metodologia de Pesquisa para Estudar os Processos de Ensino e Aprendizagem em Salas de Aula. In: SANTOS, F. e GRECA, I. (orgs.), *A Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas Metodologias* (pp. 13-48). Ijuí: Ed.Unijuí.
- 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.
- Erduran, S.; Simon, S.; Osborne, J. (2004). TAPing into Argumentation: Developments in the Application of Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. *Science Education*, 88(6), 915-933.
- Freire, O.; Matos, M.; Valle, A. (2004). Uma Exposição Didática de Como Newton Apresentou a Força Gravitacional. *Física na Escola*, 5(1), 25-31.
- Harres, J. (1999). Uma Revisão de Pesquisas nas Concepções de Professores sobre a Natureza da Ciência e suas Implicações para o Ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4(3).
- Holton, G.; Rutherford, F.; Watson, F. (1970). *The Project Physics Course*. New York: Holt, Rinehart and Winston. Tradução portuguesa [das quatro unidades iniciais] pela Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1978.
- Jiménez-Aleixandre, M.; Muñoz, C; Cuadrado, V. (2000a). *Expertise, Argumentation and Scientific Practice: a Case Study about Environmental Education in the 11th Grade*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), New Orleans, L.A., April (ERIC Document Reproduction Service nº ED 439 960).
- Jiménez-Aleixandre, M.; Rodríguez, A.; Duschl, R. (2000b). "Doing the Lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
- Krummheuer, G. (2007). Argumentation and Participation in the Primary Mathematics Classroom: Two Episodes and Related Theoretical Abductions. *Journal of Mathematical Behavior*, 2(1), 60-82.
- Kuhn, T. S. (1957). *The Copernican Revolution; Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*. Cambridge: The Harvard University Press.
- Kuhn, T. S. (2003). *O Caminho desde A ESTRUTURA – Ensaio Filosófico, 1970-1993, com uma Entrevista Autobiográfica*. Trad. C. Mortari. São Paulo: Editora Unesp.
- Laudan, R. (2003). In: HEILBRON, J. L. (ed), *The Oxford Companion to the History of Modern Science* (pp. 670-671). New York: Oxford University Press.
- Lederman, N.; O'malley, M. (1990). Student's Perceptions of Tentativeness in Science: Development, Use and Sources of Change. *Science Education*, 74(2), 225-239.
- Lederman, N. (1992). Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Matthews, M. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge.
- Mcevoy, J. (2007). Modernism, Postmodernism and the Historiography of Science. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 37(2), 383-408.

- Mortimer, E.; Scott, P. (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).
- Moss, D.; Abrams, E.; Robb, J. (2001). Examining Student Conceptions of the Nature of Science. *International Journal of Science Education*, 23(8), 771-790.
- Munford, D.; Zembal-Saul, C. (2002). *Learning Science Through Argumentation: Prospective Teachers' Experiences in an Innovative Science Course*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), New Orleans, L.A., April (ERIC Document Reproduction Service nº ED 465 520).
- Newton, I. (1687/1999). *The Principia – Mathematical Principles of Natural Philosophy*. A new translation by I. Bernard Cohen & Anne Whitman, preceded by A Guide to Newton's Principia by I. Bernard Cohen. University of California Press.
- Pomeroy, D. (1993). Implications of Teachers' Beliefs about the Nature of Science: Comparison of the Beliefs of Scientists, Secondary Science Teachers, and Elementary Teachers. *Science Education*, 77(3), 261-278.
- Rosa, L. (2006). *Tecnociências e Humanidades - Novos Paradigmas, Velhas Questões*. São Paulo: Paz e Terra.
- Roth, W.; Lucas, K. (1997). From "Truth" to "Invented Reality": a Discourse Analysis of High School Physics Students' Talk about Scientific Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 145-179.
- Roth, W.; Roychondhury, A. (1994). Students' Epistemologies and Views about Knowing and Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(1), 5-30.
- Rutherford, F.; Ahlgren, A. (1995). *Ciência para Todos*. Lisboa: Gradiva [Edição americana original pela Oxford University Press, 1990].
- Ryan, A.; Aikenhead, G. (1992). Students' Preconceptions about the Epistemology of Science. *Science Education*, 76(6), 559-580.
- Solomon, J., Duveen, J.; Scott, L. (1994). Pupils' Images of Scientific Epistemology. *International Journal of Science Education*, 16(3), 361-373.
- Sonneville, M.; Fauque, D. (1997). *La gravitation*. Paris: Centre National de Documentation Pédagogique.
- Sutton, C. (2003). Los Profesores de Ciencias como Profesores de Lenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 21-25.
- Toulmin, S. (1958/2006). *Os Usos do Argumento*. Trad. Reinaldo Guarany. São Paulo: Martins Fontes.
- Toulmin, S. (1992). *Cosmopolis – The Hidden Agenda of Modernity*. Chicago: The Chicago University Press.
- Toulmin, S. (2003). Como a Razão Perdeu o seu Equilíbrio. In SANTOS, B. S. (org.), *Conhecimento Prudente para uma Vida Decente – 'Um Discurso sobre as Ciências' Revisitado* (pp. 253-272). Porto: Edições Afrontamento.
- Verheij, B. (2005). Evaluating Arguments Based on Toulmin's Scheme. *Argumentation*, 19(3), 347-371.
- Vigotski, L. (1934/2001). *A Construção do Pensamento e da Linguagem*. Tr. Paulo Bezerra. São Paulo: Martins Fontes.

Investigações em Ensino de Ciências – V15(1), pp. 61-95, 2010

Welch, W. W. (1971). *Review of the Research and Development Program of Harvard Project Physics*. Columbus: ERIC Information Analysis Center for Science Education, monograph.

Recebido em: 24.07.2010

Aceito em: 11.05.2010

ANEXOS

Foram usados os seguintes códigos nos turnos de fala: P - Professor da disciplina; A1,2,3... - Alunos 1,2,3...etc.; Trechos sublinhados das falas indicam uma referência direta ao texto ou à discussões referentes às atividades; ... - pausa na fala; (()) - comentário dos pesquisadores; / - interrupção na fala; palavras em **negrito** representam ênfase na pronúncia da mesma.

Episódio I – O significado das distâncias S_L e S_T

Turnos	Falas	Comentários
01	A2 – Aqui é uma consideração, que ele ((Newton)) faz, do movimento da Lua caindo. Tem que compreender essa distância da Lua como sendo a distância de queda, ele tá pegando essa distância S_L que seria a distância percorrida pela Lua...	A2 inicia explicando que o objetivo do Passo 2 é provar que $S_L = S_T$. No seu argumento, ao afirmar que estas distâncias são iguais, mostra não compreender o significado das mesmas, pois não inclui o elemento tempo.
02	A21 – Sessenta raios terrestres...	
03	A2 – Esse S aqui, isso aqui tá querendo provar que esse S_L é em função do raio da Terra, tá querendo provar isso. Você tá querendo achar, você vai achar, como ele calculou, aqui que você vai ver que isso é exatamente igualzinho, e o S, esse S_T ((apontando o texto)) aqui é o comprimento do raio da terra percorrido pela Lua, ele provou que S_L é igual a S_T . Esse é o segundo passo: provar que/	
04	A21 – Newton reduziu o tempo... O tempo é igual a um segundo. Então, o que ele percorreria em um minuto, desce em um segundo, porque esse sessenta vem do raio da Terra, aqui vai dar a mesma, aqui vai dar a mesma... Como se ela tivessem na superfície.... Por sessenta porque o raio é sessenta vezes o raio da Terra.	Diferentemente de A2, o aluno A21 mostra que compreendeu o significado de S_L e S_T .
05	A2 – A aceleração. O segundo passo é só fazer a demonstração, você demonstrar que S_L é igual a S_T .	
06	A1 – É.	
07	A2 – O terceiro passo que é você comparar a aceleração.	
08	A1 – Isso aí eu entendi. ((em seguida aponta, no texto, a parte que ele não entendeu)).	
09	A2 – É que ele comparou, na verdade ele queria provar que a distância era a mesma. Por que? ((aqui há um breve trecho incompreensível))... Você vai abstrair, abstraindo você vai ter, no caso, se a Lua... a distância da queda da Lua e a distância percorrida pela Lua, ele comparou os dois... ou seja, a distância percorrida pela Lua é a mesma distância de queda da Lua. É só comprovar isso.	A2 ratifica seu argumento, confirmando a compreensão errônea das distâncias.
10	A1 – Calma... Tem que botar um diferencial aí. A distância daquela queda lá ((apontando para cima)) é igual à queda na superfície. É isso?	A1 questiona a explicação de A2.
11	A2 – A distância da queda da Lua vai ser exatamente a distância... espera, agora confundiu a p. ((palavrão)) toda. A distância de queda da Lua vai ser exatamente a distância percorrida pela Lua naquele tempo.	A2 mais uma vez corrobora seu entendimento.
12	A21 – Não! Né isso não! Ele reduziu o tempo de um minuto pra um segundo, por causa da função de sessenta segundos e um minuto, e isso ficou equivalente a reduzir a distância de sessenta raios para um raio. Como ele conseguiu imaginar isso, aí eu não sei. Só se ele pegasse o quadrado do tempo também, só assim.	A21 discorda, enfatizando o papel do elemento tempo na redução feita por Newton.
13	A2 – Um minuto não é igual a sessenta segundos? Então, um minuto é igual a sessenta segundos. Você vai... se você reduzir de sessenta a distância, certamente vai ser igual. Um minuto é igual a sessenta segundos, então a queda da Lua em um minuto/	A2 confunde a redução feita por Newton uma transformação de unidades.
14	A21 – Vai ser um valor sessenta vezes maior do que o outro/	
15	A2 – Exatamente! Vai ser sessenta vezes...vai cortar/	
16	A21 – Mas, isso não quer dizer que a relação vai ser igual a... Aqui na Terra vai ser igual a lá em cima.	A21 confirma sua discordância.
17	A2 – Mas, se as distâncias...	
18	A21 – Mas, isso vai dar ao quadrado do tempo.	
19	A2 – Mas, pela queda livre de Galileu, a Lua caindo vai ser igual. É a mesma coisa que a aceleração centrípeta. Se o tempo gasto vai ser o mesmo , aí provou que poderia usar como a Lua em queda, a gente viu essa prova aqui. Poderia botar esse argumento, que a aceleração centrípeta é igual à aceleração se a Lua tivesse caindo pra gente, sem o movimento tangencial.	A2 confirma novamente sua idéia de que as distâncias são iguais para o mesmo tempo.

Investigações em Ensino de Ciências – V15(1), pp. 61-95, 2010

20	A21 – Mas, ele quer dizer o seguinte: o deslocamento lá em cima é igual aqui na Terra.	
21	A2 – Igual não. Exatamente porque o deslocamento em um minuto, de um minuto reduziu para sessenta segundos, a distância percorrida em um minuto ele reduziu, vai ser igual à distância percorrida, vai ser proporcional a uma distância de sessenta raios da Terra.	Outra vez, mostra a sua confusão da redução do tempo com uma transformação de unidades.
22	A21 – A que ele percorre em um minuto lá, ele vai percorrer em um segundo aqui. Foi mais ou menos o que eu entendi.	Nestes turnos, o conflito entre os dois argumentos distintos se acentua.
23	A2 – Não! A distância percorrida em um minuto lá vai ser igual à distância percorrida em um segundo aqui? Não! ((todos dão uma pausa de alguns segundos para ler o texto))	
24	A2 – Ele reduziu de sessenta segundos/	
25	A21 – A altura da órbita da Lua. Para um segundo!	
26	A2 – À superfície da Terra! À superfície da Terra!	
27	A21 – Então, meu querido, reduzimos o tempo de sessenta segundos lá na órbita para o tempo de um segundo aqui, é isso que ele tá dizendo... Agora por que isso faz sentido...?	
28	A2 – porque o raio da Lua é sessenta raios da Terra. Aí, vai ficar certinho o sessenta vai embora.	A partir deste momento, A2 pára de objetar o argumento de A21.
29	A21 – Aí tá o T ao quadrado. Fica o R e o tempo ao quadrado mesmo? O tempo também? O R é ao quadrado. O tempo também é ao quadrado, pra ficar igual?	A partir deste momento o aluno A21 não ter percebido no texto que o tempo estava elevado ao quadrado. A2 mostra que o tempo está ao quadrado, o que justifica a simplificação na conta.
30	A2 – ((aponta o texto))	
31	A21 – Aí sim... Aqui é T ao quadrado. Concordo!	
32	A2 – O R e o T tem que ser ao quadrado.	
33	A21 – Porque aí fica sessenta do raio e sessenta do tempo. ((em seguida, passam um bom tempo lendo em silêncio)).	
34	A21 – Aqui tem que ver, porque a força na superfície é igual a sessenta vezes a força na órbita, sessenta ao quadrado vezes! ((mais um tempo de pausa))	Ambos concordam e chegam a um consenso sobre a causa da simplificação.
35	A21 – Aí reduz o sessenta, mas isso só seria válido se for ao quadrado isso aí. Se não for ao quadrado, não tem como validar isso aí.	
36	A2 – É por causa das forças, a força lá vai ser proporcional ao raio ao quadrado, e na superfície vai ser proporcional a um sobre R ao quadrado. Como o raio da terra é um sobre R, a outra vai ser proporcional a sessenta R.	
37	A21 – A força é proporcional ao deslocamento sobre o período ao quadrado, o período é o tempo.	
38	A2 – A força é inversamente proporcional ao período ao quadrado.	
39	A21 – O tempo é ao quadrado...	
40	A2 – E F é proporcional a um sobre o período ao quadrado.	
41	A21 – Aí, agora sim! Se você... Se a força lá em cima é sessenta ao quadrado vezes maior, menor, aí vai...	

Episódio II – Como Newton comparou a aceleração da Lua em sua órbita com a aceleração da gravidade na superfície da Terra? Quais os artifícios que ele utilizou para isso?

Turnos	Falas	Tipos de Interação	Comentários
01	P - Como é que Newton comparou a aceleração ((da Lua)) na altura de sua órbita com a aceleração da gravidade na superfície da Terra e falar também dos artifícios que ele utilizou pra isso. Por onde começamos? A turma aí da direita.	I	
02	A1 – Então, é... uma, um, um dos... assim; que... quando Newton fez essa.. essa observação <u>essa idealização da... da queda da Lua...</u> então ele começa fazendo esse comparativo da... da... no caso se é retirando do movimento da Lua é... o movimento tangencial, qual seria aí esse movimento de queda, como é que seria... essa, essa descrição desse movimento de queda, <u>pra fazer essa descrição ele se volta pra geometria</u> , ele tenta buscar parâmetros geométricos, equivalências, proporções, essa, essa descrição da queda, ele determina a distância tempo de queda, vai, <u>faz a proporcionalidade de força... com, com o inverso do quadrado, é... as forças proporcionais à distância... pelo ... inverso do quadrado do... do tempo.</u> E fazendo essas associações, ele chega a... a uma expressão da... da aceleração, no caso concatenando essas idéias, essas idéias de proporção, ele vai, se... direcionando a essa... idéia da aceleração.	R	O aluno argumenta, de forma incompleta e confusa, embora com alguns elementos adequados, que Newton se garante na geometria para descrever a queda da Lua. E, para chegar à expressão da aceleração, como conclusão , usa a proporcionalidade: $F \propto S/T^2$.
03	A2 – As acelerações são proporcionais, <u>porque a força é proporcional... ao raio ao quadrado, a um sobre o raio ao quadrado</u> , com essas associações ele achou a proporcionalidade das acelerações. <u>Ele fez a redução lá do tempo</u> , reduziu também o... o período de queda, o tempo de queda, e aí, ele chegou a essa conclusão.		O aluno cita a relação $F \propto 1/R^2$ como um dado para Newton chegar à conclusão de que as acelerações são proporcionais. Fala sobre a redução do tempo de queda da Lua (um minuto para um segundo) como um qualificador .
04	P – Tá bom! Pronto? Próxima equipe. Vocês são da mesma equipe, não é isso? ((referindo-se a A2)). Então, quem é a próxima equipe aí?	A I	
05	A8 – A gente adiciona o seguinte: o que a Lua percorre em um minuto lá ((se refere à órbita da Lua)), a distância, a Lua percorre na superfície ((se refere à Terra)) em um segundo, que é sessenta vezes... um minuto é sessenta vezes o... o segundo, e a altura da Lua era sessenta vezes semi-diâmetros. Por isso que a força era inversamente proporcional ao tempo, ao quadrado do tempo.	R	Complementa a resposta da equipe anterior. Conclui que a relação entre as distâncias de queda da Lua (S_L e S_T) e os raios da órbita e da Terra, que não tinha sido citada claramente pelo grupo anterior, leva à relação $F \propto 1/T^2$.
06	P - Ok! É... vamos pra terceira equipe, então? Terceira é aqui, quem é que vai ser o porta-voz da equipe?	A I	
07	A14 – A gente chegou até esse mesmo finalmente, só que aí a questão virou pra... a gente ficou na dúvida do seguinte, se... essa distância, se o raio da Terra não for sessenta vezes menor do que a órbita da Lua, ou melhor, corrigindo, esse acontecimento foi na verdade uma coincidência entre sessenta segundos (que é um minuto) e um segundo, e sessenta vezes a órbita da Terra, se por exemplo, a órbita da Terra, o raio da Terra em relação a órbita da Lua, fosse menor, digamos, trinta, essa proporção talvez não seria adequada, ou seja, você não poderia... na verdade foi uma coincidência que ele encontrou para poder resolver esse problema, foi por isso que agente parou aqui, porque se ele chegou a essa conclusão a partir de uma coincidência ou que outras formas, que outros argumentos ele utilizou pra fazer esses tipos de comparação?	R	Fala sobre a proporção 1/60, que é a mesma para raio da Terra/órbita da Lua (o que foi um simplificador nos cálculos de Newton), como uma coincidência que, caso fosse refutada , não levaria à conclusão $F \propto 1/T^2$.
08	P – Essa é uma boa pergunta, mas vamos deixar pra agente comentar depois tá certo? Ainda querem falar?	P	
09	A10 – Não, acho que a única relação que poderia existir desse sessenta ao quadrado que no caso são em relação... de ter passado pra segundo... a distância ser a mesma quando ele passa pra segundo, a única evidência assim que poderia... ter pra justificar esse, esse esse espaço que ela percorre mais aqui, ou esse tempo menor para o mesmo espaço, seria... a... aceleração, a proporção da força... no inverso do R dois ((R^2)), certo? Que no caso ele desenvolve e chega à conclusão de que... a força gravitacional aqui na Terra seria sessenta ao	R	Argumenta que as proporcionalidades $F \propto 1/R^2$ e $F \propto S/T^2$ são as garantias para a relação raio da órbita/raio da Terra ser igual à relação 1/60.

	quadrado vezes maior do que a força gravitacional... na Terra, na superfície da Terra. Então, se agente desenvolver aquela proporção de... F proporcional a... S sobre T dois (T^2), é isso, então... pode ser que chegue a essa conclusão.		
10	P – Quero só chamar a atenção que vocês estão trazendo dois problemas, quer dizer, duas possíveis respostas: uma (uma suspeita, né) será que isso aí não é uma coincidência, uma coincidência numerológica?; Mas, na segunda resposta, eu tô entendendo que você deu uma resposta um pouco diferente, na verdade a conta do Newton também depende dele ter assumido essa proporção do inverso do quadrado? Tá, tá bom! Vou deixar em suspenso. É... seguimos adiante? Vocês ainda querem falar alguma coisa? Não? Seria a terceira equipe, né? A quarta! Vamos lá? Quem é o porta-voz aí da equipe?	A	
11	A15 – Ele fala aqui sobre... <u>a distância que a pedra cai em um segundo na superfície da Terra. Newton utilizou o pêndulo de Huygens para calcular a aceleração aqui na Terra. Ele pegou a altura, a altura proporcional à metade do pêndulo, e o... a circunferência ao quadrado, proporcional ao diâmetro. Aí, como resultado, eu achei 4,87 que é igual... que é igual à distância... que é igual primeiro... à distância que a Lua cairia em direção à Terra se fosse privada de todo o seu movimento tangencial.</u>	R	Trás um elemento novo que é o pêndulo de Huygens e fala como Newton obteve a aceleração na superfície da Terra, com o pêndulo, para fazer a comparação entre os valores, trazendo mais uma garantia para a comparação.
12	P – Quando a gente fechar o debate aqui, eu quero que vocês reflitam sobre o seguinte: é a quarta equipe e é sintomático que as três primeiras equipes não falaram nesse problema, quer dizer, o problema de como é que calcula a aceleração na superfície da Terra. Porque as três primeiras equipes, no fundo, explicaram como é que Newton pegou a aceleração na... lá em cima, né isso, e, por uma série de truques, converteu no valor da aceleração da Lua aqui na Terra, né isso? Agora, como ele compararia esse valor, como é que ele testaria se esse valor.../	F	Chama atenção para o fato de só uma equipe ter feito referência ao valor da gravidade dado pelo pêndulo de Huygens.
13	A11 – Aí ele precisou do pêndulo.	R	
14	P – Aí ele precisou do pêndulo. Ou seja, sem o pêndulo, ficava um cálculo teórico, quer dizer, porque que... Bom, a gente vai debater. Vamos, vamos... a quinta equipe aqui agora.	A	
15	A16 – Agente quer dizer o seguinte: com relação a essa proporção que tava rolando comentário de sessenta e tal e se foi um jogo numérico, é porque, pelo que eu percebi, a... a... altura da Lua à Terra, seria sessenta raios, né? E quando ela desce pra superfície seria um raio terrestre, então foi daí que ele tirou essa proporção pra, pra chegar à aceleração da Lua na superfície da Terra. Aí, Newton comparou a aceleração da Lua na superfície da Terra durante um intervalo de tempo de um segundo, no caso, com a aceleração de um pêndulo na superfície neste mesmo tempo. Aí, Newton conseguiu valores bem aproximados e deduziu que a mesma força que acelera a Lua, seria, é a força que acelera o peso porque, porque, caso contrário, pra ele teria outra força além da aceleração do peso aqui, acelerando o peso, que seria essa força que acelera a Lua, e ele não encontrava isso, né.	R	A proporção R_{Terra}/R_{Lua} : 1/60 leva à conclusão : acelerações a_{Lua} e a_{Terra} são proporcionais. A16 toma esta conclusão como um dado para outra conclusão : F_{Lua} é a mesma F_{Terra} . Depois, põe um argumento refutador : se tais forças não fossem a mesma, haveria outra força sobre a Lua, o que não se verifica.
16	A6 – É, sendo que, como... <u>à medida que as distâncias variam a aceleração também esta variando, a causa que faz com que a Lua mantenha essa órbita teria que ser a mesma que faz os corpos caírem, porque se não teríamos duas forças atuando e as experiências não demonstravam isso.</u> Aí, você teria uma força que era a da Terra, e essa é inevitável, e teria que encontrar uma segunda explicação, pra essa outra força, aí já fugiria totalmente ao que os cálculos estavam demonstrando. A outra coisa é com relação a... às dificuldades que ele encontrava né? É... na época, <u>aqui ele ((o texto)) fala de epistemologia né, a forma como a ciência era pensada naquele período, a corrente mais fácil que tinha... era a mecanicista.</u> Porque Descartes era um dos principais líderes, e... contrariava, da forma como ele tava pensando o movimento da Lua. Aí, o que o mecanicismo respondia, né. Como você... <u>como o senhor falou assim ((se refere ao professor)), se hoje a gente vê isso com grande facilidade, naquela época era complicado, e era complicado romper essa barreira aí, como ele não tinha explicações físicas pra sustentar as explicações dele na época, ele se sustentou em explicações matemáticas,</u> e... à medida que a matemática exigia uma coisa, ele ia embutindo justificativas, pra que aquela coisa se... pra que o movimento a-		Aqui, o aluno retoma a argumentação de A16, de forma mais elaborada, embasada no texto e em discussões anteriores. Apresenta a Conclusão de que a causa que faz com que os corpos caiam na superfície da Terra é a mesma que mantém a Lua em sua órbita e a refutação de que, caso não fosse a mesma causa, os resultados não concordariam com os cálculos e com a experiência.

	tendesse ao que ele tinha calculado e, aí ele ia colocando as, as exigências, né.	
17	<p>P – Tá certo. Agora, feito essa versão, vamos entender o seguinte, feito essa versão, se agente pensa na pergunta que foi feita: Explique como Newton comparou a aceleração da Lua em sua órbita com a aceleração de gravidade na superfície da Terra. Veja que a pergunta é, como é que ele comparou uma com a outra então, as três primeiras equipes, ao não falarem do cálculo da aceleração pelo pêndulo, não responderam à questão diretamente, ou seja, na verdade explicaram qual foi o truque que Newton utilizou pra, é... transpôr uma aceleração que ele podia calcular com dados astronômicos, pra uma aceleração que era um experimento imaginário. É evidente que a Lua não podia bater na superfície da Terra, né. Mas, ou seja, eu acho até que vocês pensaram no problema e... não tô dizendo que tá certo ou tá errado, seu eu fosse congelar a resposta de vocês, a resposta estaria insuficiente. Porque... é na comparação dos dois valores que... digamos assim, aparece a força do Newton, né. Porque é na comparação, eu acho que vocês dois aí que enfatizaram ((se refere à equipe do aluno A12)), que o Newton dá uma espécie, assim, de pulo do gato. Foi a... as últimas equipes que enfatizaram isso aí, ele diz assim: Se não fosse a mesma força, se a força que mantém a Lua lá em cima fosse diferente da que faz um corpo cair aqui, então nós teríamos duas força, é... agindo sobre o corpo, e esses resultados a a... digamos assim, a comparação é... digamos assim, é... não bateria. Vamos entender melhor esse argumento, ou seja, na hora que a Lua tá chegando na Terra, todo mundo admite que ela chega na Terra, ela cai com uma força que é a força gravitacional análoga ao peso ... independente de qual seja a gravidade, se você admite que essa força é diferente da força que mantém a Lua lá em cima. Você tinha, então, que admitir que quando a Lua chegava aqui, agiam sobre ela duas forças: a do peso, porque todo corpo na superfície da Terra, todo corpo na superfície da Terra tem peso; e a força que agia sobre ela lá em cima, porque a força não deixou de existir, né. Então daria, se elas fossem diferentes, daria pra aceleração da Lua na superfície da Terra, um valor diferente do valor da Gravidade. Então, é aí que ele procura... digamos assim, amarrar bem a questão. Bom, a única ponderação que eu faria. Eu gostei. Agora, dois comentários rápidos: essa pergunta aí se os cálculos de Newton dependem ou não dependem dessa numerologia aí de sessenta, a pergunta é boa! Agora vamos parar e pensar o seguinte, pra o modo como ele fez o cálculo, é claro que depende, pra o modo, quer dizer, o truque do cálculo né. É isso que torna o cálculo simples, se não fossem esses os dados, os cálculos seriam mais trabalhosos, você pode até imaginar, se a civilização tivesse surgido em Marte ou Júpiter, né. O Newton jupiteriano teria mais dificuldade pra chegar a essa conclusão do que o Newton, é, terrestre. Agora, será que o resultado, a equivalência da gravidade do corpo que cai com a força que mantém a Lua, essa equivalência não seria mantida?... Eu acho que seria! Porque os sessenta entrou aí facilitando a conta, e aí pra vocês inclusive verificarem isso, vocês vão ver que quando você fizer o cálculo, o segundo, a segunda abordagem, que é uma abordagem própria para o segundo grau, esse modo, esse modo que o Newton utilizou, a gente vai utilizar de maneira diferente, então esse corta sessenta com sessenta não é tão...</p>	<p>A O professor faz uma avaliação mais detalhada da discussão dos grupos, mostrando que as respostas dos primeiros grupos estavam incompletas por não se referirem ao valor da aceleração aqui na Terra encontrado através do pêndulo de Huygens. Mas, no decorrer da discussão, as outras equipes complementaram as respostas e ele avalia de forma satisfatória a resposta da turma. Em seguida, reforça a resposta dando um feedback e comenta sobre a questão da coincidência numérica, enfatizando que, mesmo se ela não existisse, Newton obteria o mesmo resultado, só que de uma forma mais trabalhosa.</p>

Episódio IV - Qual o principal obstáculo enfrentado por Newton para introduzir a idéia de uma força gravitacional de ação à distância? Que saída ele encontrou para minimizar o problema?

Turnos	Falas	Tipos de Interação	Comentários
01	P - Bom, ainda tem a terceira questão, vamos lá! Qual o principal obstáculo enfrentado por Newton para introduzir a idéia de força gravitacional de ação a distância, e que saída ele encontrou para resolver o problema. Talvez alguém já tenha arranhado a resposta, mas vamos ver quem enfrenta ai pra dar uma resposta de A a Z. Ta bom,vá lá.	I	
02	A12 – A questão em relação à força, é que ele propõe uma força sem contato, até o momento não se concebia a idéia de uma força sem contato, e a questão de explicar ele não explica, mas ele usa a, a... sedimentação matemática dele, pra mostrar que aquela força era uma consequência do que ele já tinha provado, e não pra provar a força em si.	R	O aluno argumenta que a ação à distância é garantida pela idéia de força sem contato, que se fundamenta na matemática. Mostra a percepção da refutação pelos mecanicistas à conclusão de Newton.
03	A11 – No fundo no fundo, é uma briga entre <u>mecanicistas e instrumentalistas</u> , né.		
04	P – Vocês vão ver em outros momentos do Newton. Bom, alguém quer complementar essa pergunta? Não? Tá perfeita a resposta. Então, fazendo um comentário adicional a... evidente que essa, essa atitude do Newton, os adversários, quer dizer, os cartesianos não aceitaram isso facilmente. Nós vamos falar um pouco mais aqui no curso, foram pelo menos uns cinqüenta anos de embate é... de um lado e do outro e... lá pras tantas, quando o Newton tenta se defender, ele usa uma frase que é muito famosa, que é a frase do ‘não faço hipóteses’, né... É dessa vez que ele tenta se defender na matemática e dizer ‘olha, isso funciona’, e se funciona bem, nós temos que aceitar é... sem discutir. Mas, muita gente vai discutir se realmente Newton não fazia hipóteses.	A	O professor avalia como “perfeita” a resposta do aluno A12 e conclui a questão comentando a dificuldade de Newton frente aos adversários e sua afirmativa sobre não fazer hipóteses.

Episódio V - O que você entende por síntese newtoniana? Qual a importância e implicações dessa síntese?

Turnos	Falas	Tipos de Interação	Comentários
01	P - Então vamos lá. Vamos começar a discussão da terceira questão. Todo mundo fez aí? Vamos começar...	I	
02	A4 - A conclusão, né, que Newton teve é que a força que envolve os corpos celestes é válida também para corpos terrestres. Isso possibilitou um estudo em conjunto da física celestial e dos corpos terrestres. Uma consideração que agente fez, né, é que a força que acelera uma pedra na superfície da Terra é de mesma natureza de que a força que mantém a Lua em sua órbita.	R	Argumentação sumária da síntese newtoniana. As forças de mesma natureza como garantia para o estudo conjunto das físicas celeste e terrestre.
03	P - Correto. A próxima equipe... vamos lá rapaz... ficou nervoso? ((em tom de descontração em função da demora do aluno em responder)).	A I	
04	A5 - Não, não fiquei nervoso... é... as afirmações que ele fez ((se refere a A4)) foi justamente o que a gente fez aqui no grupo, não tem nenhuma... relacionado à primeira pergunta, alguma coisa diferente a acrescentar.	R	
05	A6 - Na verdade é aquilo que ele falou, né ((se referindo a A4)) a síntese newtoniana, ela elimina aquela idéia de que a coisa funciona de um jeito aqui, e de outro jeito lá fora, né ((se referindo ao espaço celeste)). Ele, <u>a partir até daquele experimento lá da Lua, quando ele demonstra que a força que atua sobre ela lá é a mesma que atua sobre ela se ela tiver sendo atraída aqui no centro da Terra, isso aí... praticamente bate o martelo de que não existe como ser diferentes, como por exemplo, pra os mecanicistas, ainda o movimento dos corpos celestes ainda era gerado pelo tal do éter, né/</u>	R	Complementa a resposta, fazendo uma argumentação competente embasada no texto: forças sobre os corpos celestes e terrestres sendo de naturezas diferentes refutam a idéia de movimentos celestes e terrestres serem de mesma natureza.
06	A7 - Por contato.		
07	A6 - Exato. Tinha aquele contato que fazia com que ele girasse, né, sintetizando a idéia dele. Ele elimina essa coisa de que existe diferença entre os movimentos aqui e fora da Terra.		
08	P - Bom. Qual é a próxima equipe? Vocês aí, né?	A I	
09	A8 - Newton uniu a física celeste com a física terrestre.	R	
10	P - Essa é a síntese newtoniana? ((todos riem)).	P	
11	A1 - É a síntese da síntese newtoniana.	R	
12	P - Qual é a próxima equipe? Vocês, né? Bom, se vocês têm coisas a acrescentar. Se não tiver...	I	
13	A9 - A nossa é a síntese da síntese dele ali... ((todos riem))... a formação de uma nova física que pode ao mesmo tempo explicar a física terrestre e a física celeste.	R	
14	P - A ultima equipe aí, ainda tem como acrescentar?	I	
15	A10 - É... com relação à importância... à importância dessa síntese é que... que Newton rompe totalmente com o geocentrismo... comprovando matematicamente que... o centro do universo é o heliocentrismo, tal, e também ele acaba... ele acaba com a idéia, com essa necessidade de que precisa haver uma força de contato pra que essa força que... centrípeta, no caso, que resulta nas órbitas dos satélites e dos planetas em trono do Sol é de mesma natureza da gravidade terrestre, então...	R	Fala das implicações da síntese newtoniana: apoio ao heliocentrismo, tendo como garantia a comprovação matemática; e ruptura com a idéia de força de contato.
16	A11 - Reforça a questão do... isso, essa síntese dele, indo mais além, reforça a idéia do seguinte: do heliocentrismo. Ele mata de uma vez a questão do geocentrismo, <u>porque no que ele se baseou no estudo de Kepler, tal, tudo isso só funciona para corpos girando, né, para planetas girando em torno do Sol.</u> Isso é uma coisa importante na minha interpretação.	R	Embasado no texto, a importância da síntese newtoniana como apoio ao heliocentrismo, tendo como garantia o fato do movimento dos planetas só obedecer às leis de Kepler se forem tomadas distâncias dos planetas em relação ao Sol.
17	P - É uma das implicações, né isso? Tá bom! Bom, é... eu não teria nada a acrescentar ao que vocês apresentaram aí, eu acho que está perfeito... quer dizer, na verdade nós temos mais de uma pergunta aqui. E a primeira pergunta: o que é	A	O professor avalia como “perfeita” a argumentação construída pelos grupos e

<p>a síntese newtoniana é o que um pouco essa equipe aí de vocês foi em cima com a unificação da física terrestre com a física celeste...e aí, a importância e a implicação dessa síntese é o que eu acho que vocês aí do lado de cá começaram a desenvolver mais, quer dizer, é um enorme apoio ao heliocentrismo, é uma nova visão de mundo e de ciência, de física, com essa idéia de... digamos assim, abrindo mão da idéia de força de contato. Então essas são as implicações.</p>	<p>faz um resumo da mesma.</p>
--	--------------------------------

Episódio VI - Que argumentos Newton utiliza para adotar o sistema heliocêntrico?

Turnos	Falas	Tipos de Interação	Comentários
--------	-------	--------------------	-------------

01	P - Que argumentos Newton utiliza para adotar o sistema heliocêntrico?	I	
02	A1 - É... é uma... uma... Como é que diz, é justamente, a interdependência entre as leis de Kepler e a existência da força central, <u>ele fala que o movimento circular, que obedece à lei de Kepler, necessita dessa força central.</u> Assim, quando ele, ele faz essa...essa junção, né, ele estabelece essa interdependência, deixe eu ver aqui a pergunta, só pra ver se eu tô falando... é, é isso justamente.	R	O grupo aponta a interdependência entre leis de Kepler e força central como garantia para adoção do sistema heliocêntrico por Newton.
03	A2 - E isso só funciona se tiver o Sol no centro, se botar a Terra no centro essa... isso não vai funcionar certo.		Forças centrais, do tipo $1/R^2$, fundamentam às leis de Kepler.
04	P - A pergunta é a seguinte: Será que o argumento... Vou pegar uma parte da resposta de vocês, não tô pegando a resposta toda. A resposta é assim: as leis de Kepler só funcionam botando o Sol no centro pra que o R três sobre T dois ((R^3/T^2)) seja a distância em relação ao Sol e não em relação à Terra. Isso é uma prova irrefutável a favor do heliocentrismo, ou não?	P	
05	A11 - É... Sim, eu acho que sim.	R	Ambos respondem simultaneamente.
06	A13 - Não.		
07	P - Quem disse sim, primeiro, tem direito a falar. Quem disse não, tem direito a falar depois.	P	
08	A11 – Eu acho o seguinte, pelo que já foi estudado é o seguinte: isso dá um valor constante, pra... <u>Esse R três sobre T dois dá um valor constante, mas essa constante só será válida e será única, se tudo isso for em função do... se tiver girando em função do Sol. Ele ((Newton)) deixou bem claro que se for em função de outros planetas, isso não vale.</u> Então é... eu acho que é por aí, acho que isso é irrefutável.	R	Ratifica, embasado no texto, a 3ª lei de Kepler como garantia para o sistema heliocêntrico, uma vez que aquela é válida se os corpos girarem em torno do Sol.
09	A4 – Também ele fala no texto aqui que...as leis de Kepler podem ser derivadas, naquela proporção que ele afirma que ele comprovou no livro um ((se refere ao Livro I dos “Principia”)) <u>de que a força em relação à distância, a força centrípeta, é inversamente ao quadrado da distância.</u> Se ele comprovou que essa proporção é verdadeira e que a lei de Kepler deriva dessa força, então eu acredito que a lei de Kepler possa ser confiável.		Embasado no texto, complementa o argumento colocando a força central, do tipo $1/R^2$, como fundamento de que a 1ª lei de Kepler é válida.
10	P – Bom, vamos ver quem diz que não, depois eu... eu meto minha colher na brincadeira.	P	
11	A13 - Você falou (...), ((cita o nome do professor)) que é irrefutável em relação ao heliocentrismo. Eu acho que não por que, assim, os planetas obedecem às leis de Kepler ao redor do Sol, e os satélites, ao redor dos planetas, então se fosse na época acho que não ia derrubar não, porque você está dizendo ao redor do Sol, mas também tem as luas de Júpiter e tem a Lua aqui da Terra... Eu fico assim meio...	R	Apresenta um elemento refutador na argumentação: $R^3/T^2 = \text{constante}$, não somente para o Sol no centro, mas para qualquer corpo girando em torno de outro, então a 3ª lei de Kepler não constitui garantia para o sistema heliocêntrico.
12	P - A questão é... eu sei que ela é... não tem uma resposta... digamos assim direta, é... porque no fundo a resposta do Newton é assim: você vai juntando a primeira lei de Kepler com a terceira lei, com a demonstração matemática dele ((Newton)) de que é o inverso do quadrado da distância, aí você juntando tudo isso, você diz assim: bom, se eu não aceitar o heliocentrismo, eu tenho que ter um enorme trabalho pra explicar, como é que vale a terceira lei de Kepler, como é que vale a... digamos assim, a primeira lei de Kepler, num sistema que não seja o heliocentrismo. Então, no fundo, no argumento do Newton tá embutido aí um argumento de simplicidade, quer dizer, pondo o Sol no centro e admitindo a primeira lei, admitindo a terceira lei, eu consigo derivar uma força do inverso do quadrado da distância e com a força do inverso do quadrado da distância eu consigo mostrar de que a aceleração da Lua aqui na superfície da Terra é igual à aceleração medida pelo pêndulo, né. Mas, isso não é um prova irrefutável no sentido assim de que... a princípio, alguém poderia pensar, o que não é absurdo, alguém... tentar na época ir por um outro caminho, caminho do tipo... aceitar que de fato a terceira lei, as distâncias têm que ser consideradas em relação ao Sol e ainda buscar compatibilizar isso,	A	O professor considera os argumentos dos dois alunos que divergiram suas opiniões, procurando explicitar os aspectos corretos de ambas as justificativas e, assim, arremata a discussão, resumando a argumentação construída coletivamente.

<p>por exemplo, com o modelo do Tycho Brahe, todas as distâncias dos planetas são em relação ao Sol, mas o Sol gira em torno da Terra, então onde é que fica a prova irrefutável? É claro que aí pra você fazer com o modelo do Tycho Brahe, fazer todas essas contas e todas essas demonstrações que Newton tá fazendo, aí já fica uma batalha... praticamente impossível, não é?</p>		
--	--	--

Episódio VII - Que conclusões você chega sobre o trabalho de Newton depois da leitura do artigo e da atividade em classe?

Turnos	Falas	Tipos de Interação	Comentários
01	P - Ok! Nós temos ainda uma última pergunta um pouco mais a-berta assim: que conclusões você chega sobre o trabalho de New-ton depois da leitura do artigo e da atividade em classe? Vamos fazer uma coisa bem aleatória vamos começar aqui pelo meio.	I	
02	A19 - A gente concluiu que...ele não fez tudo só, mas ele apoiou-se em vários trabalhos de outros físicos que antecederam e contemporâneos também.	R	Visão de ciência cons-truída a partir do traba-lho coletivo e não de um único “gênio”.
03	P - Vocês são a primeira equipe, têm a chance de falar pra caramba, heim! É isso? Então... vamos ver aqui uma que tenha falado menos... vocês aí! ((aponta para outro grupo))	P I	
04	A20 - Newton mudou o rumo da ciência, derrubando o conceito de geocentrismo e introduzindo o conceito de interação entre os corpos, sem contato mecânico e derrubando assim o éter de... cartesiano.	R	Acentua alguns feitos científicos de Newton, responsabilizando-o por mudar os rumos da ciência. Implícito aqui a idéia do cientista herói.
05	P - Tá bom! A equipe de cá! ((aponta para o terceiro grupo))	A I	
06	A10 - A gente concluiu que... Newton apresentou resultados irrefutáveis pra época, por ele ter demonstrado matematicamente e ter contextualizado as... os resultados que... que ele teve como resultados... certos, digamos assim, em seu estudo e acrescentar.	R	Visão positivista, resultados irrefutáveis por estarem “certos”, garantidos, uma vez demonstrados matematicamente e a visão de ciência cumulativa.
07	A13 - Somado a isso... a cautela de ter... ter estudado tudo que a... já se havia construído de ciência, filtrado o que servia pra explicar tudo que ele havia... deduzido, e criado ferramentas que justificassem suas deduções. O cálculo como uma ferramenta principal para a comprovação matemática e científica.		
08	A11 - E criando assim uma nova visão de mundo. Por parte dele! ((risos))		
09	P - Vamos lá! ((aponta para o grupo seguinte))	I	
10	A6 - Eu acho que... é... <u>a gente andou conversando aqui... O grande aprendizado aqui, nesse debate, que nós observamos</u> , é que a ciência tenta às vezes de uma forma é... de uma forma não tão precisa, às vezes você tem que... buscar várias possibilidades, nem sempre a ciência é feita de certezas e sim de possibilidades e às vezes você não tem que provar que aquilo é verdade, à medida que alguém simplesmente não consegue provar que você tá errado, então é importante conhecer o todo, pra que quando você vá defender seu trabalho você não acabe ferindo o trabalho de outras pessoas sem ter uma justificativa plausível pra aquilo, no caso de Newton era a matemática, né. Quando ele contrariava alguém ele se... recorria à matemática pra mostrar que ele estava correto e que se alguém dissesse a ele que não estava correto, que fornecesse a ele uma condição mais aceitável que a dele, acho que o... grande feito dele foi... ele soube se sustentar, mesmo sem as certezas, mas ele soube se sustentar da forma mais aceitável possível pra época e tanto quando você fala que até hoje... grande parte dos argumentos dele não são contrariados.	R	Visão oposta às anteriores. Ciência tem natureza conjectural, sem certezas. O conhecimento requer justificativas, mas não necessariamente provas. O aluno se refere explicitamente ao debate que ocorreu em sala, durante a atividade, para relatar as visões do grupo.
11	P - Bom! Então, faltam duas, né isso? A da esquerda depois a da direita.	A I	
12	A5 - Só pra acrescentar...a questão de... de introduzir... a questão de introduzir, como eu tinha falado nesse instante, a gravidade! Todo o trabalho que ele fez, e chegou no final, conseguindo introduzir... essa força, essa força que ele vem falando e introduzir justamente... é... essa questão; colocar o vácuo no espaço, né. E... o que até no momento ele não tinha chamado de... de... de gravidade né? E... no vácuo haver uma interação entre esses corpos sem nenhum contato, eu acho é que isso é que foi chocante naquela época, é conceber que um corpo tá aqui longe do outro, não existe ar, não existe nada, e que existe alguma interação entre eles; isso é que era difícil de enxergar, né. É... são coisas que a gente não pode mensurar, não pode, não, a gente não teria como mensurar, eu acho que isso é que foi chocante na época, né. É tentar enxergar essa coisa invisível, essa interação invisível, à longa distância, o que é o mais	R	A5 é do mesmo grupo que falou anteriormente. Chama à atenção para o feito de Newton de introduzir uma idéia não demonstrável empiricamente na sua época: a idéia de ação à distância sem meio material (no vácuo) para propagar a interação.

	interessante.		
13	P - Tá bom! ((aponta para o próximo grupo)).	A I	
14	A2 - Ele criou, né... através dele, criou pilares pra reestruturação da física a... reelaboração da física. Através dele a física começou a... se desenvolver mais, né. Começou, derrubou muito, né, tanto que... pela biografia, não tinha tantos livros de física, né. Ele começou a... ele mesmo a elaborar uma nova física, certo. Foi ele que praticamente consolidou a, ou se esconder em matemática, né. Pegar a matemática pra explicar fisicamente, Kepler tinha dado uma introduçãozinha antes, mas foi Newton mesmo quem deu a introdução do cálculo diferencial e integral, essa noção de limite... Isso aí.	R	Aparece novamente a idéia de um Newton herói, responsável por modificar os rumos da física, apoiado na força da matemática.
15	P - Bom. ((aponta para o próximo grupo))	A I	
16	A4 - O que a gente pôs aqui foi... a maior consolidação do sistema heliocêntrico e o desenvolvimento matemático e coerente da mecânica. ((risos))	R	
17	P - Tá bom! Se eu tivesse que dizer uma coisa a partir da própria conclusão de vocês eu mostraria pra vocês exatamente o seguinte: como vocês mesmos perceberam, chegar à idéia de uma força gravitacional é... não foi simples. É uma idéia que... foi na época ousada, difícil de ser aceita. Como (...) ((cita o aluno A5)) frisou, apelava pro invisível... e como outros aí frisaram, que a gravitação ajudou, como você disse aí ((aponta para um dos alunos)), foi o ponto de chegada, ou seja, com a gravitação a gente vê, então, a mecânica fica de pé! Por isso que é chamada também de síntese newtoniana. Então, se a gravitação foi tão importante na construção da mecânica, veja que é uma coisa muito empobrecedora pro ensino de física, um ensino de física que... deixa a gravitação um pouco de lado... introduz rapidamente, ou seja, se a gravitação é essa coisa tão importante, em qualquer curso de física a discussão da força gravitacional deveria ter um grande espaço.	A	O professor reconstitui sumariamente as argumentações dos alunos, ressaltando a ousadia das idéias inovadoras de Newton, constituindo seu trabalho de síntese e estruturando assim a mecânica. Finaliza com a importância, portanto, desse tema para ser inserido no ensino.