



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO, FILOSOFIA E
HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS



EIDER DE SOUZA SILVA

ARGUMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA: ANÁLISE DE
UMA PROPOSTA DIDÁTICA

Salvador
2021

EIDER DE SOUZA SILVA

**ARGUMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA: ANÁLISE DE
UMA PROPOSTA DIDÁTICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito para obtenção do título de doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Orientador: Elder Sales Teixeira (Departamento de Física da UEFS)

Salvador
2021

Silva, Eider de Souza.
Argumentação no ensino de física : análise de uma proposta didática / Eider de Souza Silva. - 2021.
392 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Elder Sales Teixeira.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Salvador, 2021.
Programa de Pós-Graduação em convênio com a Universidade Estadual de Feira de Santana.

1. Professores de física - Formação. 2. Física - Estudo e ensino (Superior). 3. Argumentação. 4. Força (Mecânica) - Estudo e ensino (Superior). 5. Gravitação. 6. Ciências (Disciplina) - História. I. Teixeira, Elder Sales. II. Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

Eider de Souza Silva

ARGUMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA: ANÁLISE DE UMA PROPOSTA DIDÁTICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito para obtenção do título de doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Aprovada em 18 agosto de 2021.

Banca Examinadora

Elder Sales Teixeira (Orientador): _____
Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana
Universidade Estadual de Feira de Santana

Climério Paulo da Silva Neto: _____
Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana
Universidade Federal da Bahia

Dielson Pereira Hohenfeld: _____
Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

José Luis de Paula Barros Silva: _____
Doutor em Química, Universidade Federal da Bahia
Universidade Federal da Bahia

Sidnei Percia da Penha: _____
Doutor em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Salvador
2021

EU SOU NEGÃO

Autor: Edcity

Eu sou da favela, eu vim do gueto

Batendo na panela

Derrubando preconceito.

Pra você que pensa que negro correndo é ladrão

Tem branco de gravata roubando de montão.

Mais pra você eu mando um samba

Que não tem classe não tem cor

Ele vai bater em seu peito e despertar o amor.

Eu sou negão, eu sou do gueto

E vc quem é?

Sou fantasmão, eu sou do gueto

E vc quem é?

Eu vim de lá, de lá eu vim

Não foi tão facil chegar aqui.

Esse microfone é meu armamento

Sou fantasmão estou pronto pro arrebento.

Dedico essa tese ao povo brasileiro, em especial aos meninos(as) do subúrbio ferroviário de Salvador e a todos aqueles que acreditam, assim como eu, que a educação é um dos pilares de uma sociedade mais justa e menos desigual.

AGRADECIMENTOS

“Eu vim de lá, de lá eu vim não foi tão fácil chegar aqui (...)”

Os caminhos que me levam até a construção deste trabalho é um ato de resistência, luta e amor, que envolve, de maneira direta e indireta, a contribuição de muitos sujeitos, pois, assim como canta Xande de Pilares, “muita gente me ajudou chegar aqui. Foi aos trancos e barrancos que eu consegui. Minha família, meus amigos, minha fé. A vocês devo tudo.” Portanto, agradeço, especialmente:

A minha mãe, Maria Benedita de Souza, mulher guerreira que sempre será a minha inspiração para continuar lutando em busca de meus sonhos. Lembro-me diariamente, como se fosse ontem, quando a senhora dizia: “Meus filhos, estudem para não passarem o que eu passo para sustentar vocês”. Diante das lindas memórias que tenho com a senhora, recordo com tristeza das vezes que a senhora chorava e não me contava o motivo. Anos depois, descobri que essa era uma forma que à senhora encontrava para expressar a preocupação ou/a dificuldade iminente de manter uma casa sozinha com três filhos. Ao refletir sobre isso, entendo a minha “obsessão” atual em manter a geladeira sempre cheia, além de reconhecer que o ato de comprar comida é extremamente prazeroso para mim. Os três filhos da senhora cursaram o ensino superior, algo que eu gostaria que fosse comum no contexto social onde eu e meus irmãos crescemos. Além disso, a senhora com mais de 50 (cinquenta anos) assumiu o desafio e se formou em pedagogia. Lembro com alegria toda a dedicação da senhora ao longo desse processo, passando dias e noites estudando para alcançar seu sonho. Dito isso, inspirado pelos valores que aprendi com a senhora, me faltam palavras para expressar o amor, o respeito e a gratidão por tudo que fizestes e faz por mim e pelos meus irmãos. Agradeço a Deus pela honra de ser seu filho. TE AMO MAIS QUE TUDO!!!!

Meus lindos e queridos irmãos, Deise e Noan, obrigado pelo carinho, respeito e cuidado ao longo dessa caminhada. Vivemos juntos todos os altos e baixos de uma vida dura, comum entre as famílias periféricas de nossa nação. Que os resultados pessoais e profissionais alcançados por esse trabalho possa inspirar vocês. Amo e tenho muito orgulho de vocês. OBRIGADO!!!

Pai, o senhor é um exemplo de ser humano. Homem de luta, guerreiro, honesto e trabalhador. Obrigado por ser uma inspiração em minha vida. Te admiro muito. TE AMO!!!

My black, Andreia Novais, obrigado por fazer minha vida mais feliz nesses últimos dois anos. Sou grato pelo carinho, cuidado e amor para comigo. Você, mais que qualquer outra pessoa, suportou todos os processos (angústias, vitórias, estresse, etc.), que passei no decorrer da construção desta tese. Que você continue trilhando seu caminho com perseverança e garra, assim como tem feito. Pode contar comigo. TE AMO!!!

Minhas sobrinhas lindas, Isabela e Helloisa, é tanto amor envolvido que chega a saltar do coração. Obrigado por trazerem um sentido novo para minha vida. AMO VOCÊS!!!

São quinze anos de amizade com Malu (FILHOTA), uma gata que me encontrou na REUNI (Residência Universitária da UEFS). Passamos pela graduação, pelo concurso, pelo mestrado e pelo doutorado. Eu sei que Deus te colocou no meu caminho para deixar os dias de estudos menos solitários. TE AMO!!! (Infelizmente, no dia 18/06/2021, após escrever essa homenagem, Malu sofreu uma parada cardíaca e não resistiu).

Miúda, da Itinga para Amargosa, obrigado pelo carinho e por fazer minha segurança com competência. TIO AMA!!!!!!

Um cheiro para o meu terrorista (Max Fire), que chegou a pouco tempo, mas faz barulho e cuida muito de mim.

Às vezes eu me pergunto de onde eu trago tanto coragem para continuar lutando pelos meus objetivos. Além de meus pais e irmãos, sou primo e sobrinho de grandes homens e mulheres que eu preciso agradecer e honrar nesse momento. São seres humanos que torcem por mim e me amam muito. Respeito, gratidão e muito amor para: Gildete, César (Tiozão), Roberto, Sônia, Joseval, João, Ana Paula, Valdecira, Welington (*in memoria*), Paula, Tereza, Mercês (*in memoria*), Paizinha, Toinha, Lemos, Cassinha, Márcio, Fábio, Suellen, Cileia, Jaque, Tati, Vini, Juliana, Ana Clara, Cecília, Adelmo, Rose, Márcio, Junior, Camila, Luizinho, George, Ninha, Nea, Igor, Paulinha, Claudinha, Valdete, Suzana, Elaine e Milene (AMO VOCÊS). Peço desculpas aos demais, mas eu preciso destacar o amor, o carinho, o respeito e

a admiração que tenho por Tiozão. Exemplo de ser humano, o senhor é referência em minha vida. Não me canso de dizer: “Sou seu fã”. TE AMO!!!

As minhas lindas e amadas avós. Dona Carmelita da Silva, agradeço a Deus e a senhora por tudo o que fizestes por mim, por minha mãe e meus irmãos. Dona Olga, obrigado pelo amor incondicional. A senhora é uma guerreira e tem um coração que cabe todos os netos. AMO VOCÊS!!!

No Conceito 10, tive a honra de ser aluno de grandes professores que são peças fundamentais para minha trajetória. Obrigado Ricardo (Cem), Vitor, (*in memoriam*), Antônio, Manolo, Ana Paula, Paulo, Junior, Alan, André e Eugênia. Gostaria de destacar o respeito e gratidão ao meu mentor Cem, que desde o primeiro momento me incentivou e acreditou em meu potencial. Serei eternamente grato. “NÃO SE ESQUEÇA!!!”

Aos amigos Valter e Beto pelos cuidados e torcida no início de minha caminhada na Itinga. OBRIGADO!!!

Minha ida para Feira de Santana só foi possível por conta de Liu, primo de meu pai, que conheci em 01/03/2004, primeiro dia de aula na UEFS. Não temos mais contato, de qualquer forma quero que saiba serei eternamente grato e jamais irei esquecer essa grande oportunidade. OBRIGADO!!!

Agradeço ao Sr. Zito e a Dona Marieta pelo acolhimento em Feira de Santana. OBRIGADO!!!

Diego e família, vocês me receberam com muito amor e carinho em Feira de Santana e foram fundamentais para minha subsistência no curso durante o primeiro semestre da graduação, que foi, em termos pessoais, o mais difícil de todos. OBRIGADO!!!!!!

Dona Eliana, Sr. Lourival, Lane, Dil, Val e seus lindos herdeiros, eu não teria chegado até aqui sem a ajuda de vocês. Continuo convicto de que nos momentos difíceis da graduação vocês se tornaram minha família. É difícil encontrar palavras para descrever o respeito, admiração e amor que tenho por vocês. OBRIGADO!! EU AMO MUITO VOCÊS.

A Residência Universitária da UEFS exerce, entre tantas outras coisas, a função de acolher estudantes carentes que precisam de um lugar para morar

durante a graduação. Nesse lindo espaço, vivi experiências fantásticas com forte reflexo sobre o ser humano e o profissional que me tornei. Por esse motivo, gostaria de registrar meu orgulho e gratidão de ter feito parte deste espaço e citar algumas das pessoas, que assim como eu, tomaram a coragem de sair de seus lares em busca de um futuro melhor a partir do acesso ao ensino superior. Não tenho dúvidas que o sonho de um futuro melhor nos uniu. Diante disso, gostaria de agradecer e homenagear diretamente aos companheiros(as) pela oportunidade. Obrigado: Ualace, Maranhão (*in memoriam*), Flaviane, Nilza, Boa, Juciane, Fabrício, Fábio Reis, Pacheco, Papá, Tarciso, Pedro, Marcos, Jaquinha, Uilton, Acmar, Márcia, Adilza, Cris, Elinaldo, Erinaldo, Carlos, Carlete, Gilson, D'Caprio, Jair, Leveza, Eliseu, Anderson, Gleidson, Robson, Paraíba etc.

Minha caminhada na pós-graduação começou no NEPDEC, onde fui muito bem recebido pela professora Maria Cristina e pelos colegas que ali encontrei, em especial Ricardo Macedo, Dielson (Coronel), Alan, Jan e Cleber. Toda minha caminhada tem a ajuda e a inspiração dos momentos que passei com vocês. OBRIGADO!!! Clebão, estou aguardando sua hora.

No Lahcic, em especial aos colegas da UEFS, a troca de experiências foi imprescindível para minha caminhada durante o processo de doutoramento. Tive a honra de conviver e aprender com homens e mulheres incríveis. Obrigado Elder, Fabi, Késsia, Nayara, Joilma, José Luis e Josebel. Peço licença para destacar a minha admiração e respeito ao meu amigo Josebel. Um ser humano fora de série, “pau pra toda obra”, além de atencioso é extremamente prestativo. A grande professora Joilma, que desde a graduação contribui para minha formação e se tornou um exemplo de determinação e profissionalismo que muito me motiva. Nayara, você é uma inspiração para todos nós. Uma mulher de fibra. Contarei para Helena o quanto a mãe dela é “retada”.

Elder Sales Teixeira, esse é o nome da ‘fera’ (rsrsrsrs), que tenho a honra de chamar de orientador e amigo. Um excelente profissional e um ser humano especial. Ao longo da construção deste trabalho, compartilhamos conhecimentos, experiências, tristezas felicidades e o orgulho de torcer pelo esquadrão de aço. Sempre irei carregar comigo todos os valores pessoais e profissionais que aprendi

com o senhor. Obrigado por mais essa oportunidade. Tenho certeza de que a nossa jornada de trabalho está apenas começando. GRATIDÃO e RESPEITO!!!!

Aos funcionários (professores, técnicos, terceirizados) da UFBA e da UEFS pela parceria. Em especial, gostaria de agradecer ao companheiro Guerra pelo cuidado ao longo de minha passagem pela UEFS.

Assim como canta o grupo Fundo de Quintal, "A amizade... Nem mesmo a força do tempo irá destruir. Somos verdade...Nem mesmo este samba de amor pode nos resumir". Por isso, gostaria de destacar os amigos que fiz desde o período da escola, independente se ainda mantemos contato ou não.

Ao meu amigo Fábio Carvalho, que desde o cursinho é um companheiro importante da minha luta tanto no aspecto pessoal quanto no profissional.

Respeito e gratidão ao meu cunhado Márcio (TEBA) pela torcida ao longo desses anos. Que Deus continue abençoando sua vida. OBRIGADO!!

Manu e Rei do Brega, vocês fazem parte de minha família. Obrigado por todo carinho dedicado a mim ao longo desses anos de amizade. Obrigado meu amigo Oz, conhecido como boneco de Olinda, pela parceria e torcida ao longo de minha caminhada. Tanaka, um ser humano com um coração lindo e com excelentes valores. É uma honra poder chamar você de irmão. Desejo que Deus continue abençoando a vida de vocês. EU AMO VOCÊS!!!

Cris, você torceu por mim, me apoiou e me parte de sua família. Te admiro muito pela sua personalidade, filha e mãe que se tornou. Que papai do céu continue abençoando sua vida. TE AMO!!!

Minha querida e amiga Jemima, agradeço pelo carinho que expressa por mim ao longo de minha trajetória até aqui. Que Deus continue abençoando sua vida e a de sua família. OBRIGADO!!

Marizete e Neide, obrigado pelo carinho ao longo desses anos de amizade. Sei que apesar da distância geográfica, estaremos eternamente ligados pelo respeito e admiração que existe entre nós.

Trabalhei no IFBA (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia), entre janeiro de 2011 a janeiro de 2013. Nessa instituição, compartilhei experiências que mudaram minha vida profissional, pois tive a possibilidade de

trabalhar e conhecer profissionais que me expiram até hoje. Obrigado Rubens, Érica, Luiz, Larissa, Ivo, Ricardo, Dielson e alunos(as).

As experiências vivenciadas durante minha passagem na Ebal (Empresa Baiana de Alimentos), durante os anos de 2000 e 2001, foram fundamentais para o início de minha trajetória enquanto trabalhador. Por orientação de Dona Djanira, adquiri valores e aprendi a importância de respeitar meus colegas de trabalho. Ademais, agradeço ao Sr. Roberto pela oportunidade e por acreditar em mim.

O processo de doutoramento também nos traz a oportunidade de conhecer e conviver com pessoas maravilhosas. Obrigado: Aluska (uma princesa atenciosa e guerreira); Diego (um pai fantástico e um grande profissional); Ayane (pagodeira, favelada e uma pesquisadora de respeito); Ricardo (obrigado pelas risadas), Jaqueline (exemplo de perseverança e garra); Monta (meu respeito e gratidão, saudades); Leidiene (você é uma inspiração para todos aqueles que possuem a honra de te conhecer); Pedro (ser humano prestativo e muito competente) e Rafaelle (a mulher da produção). Mariana Medeiros, obrigado pelo apoio, carinho e atenção em meio a essa caminhada. Suzart, obrigado por me ouvir, aconselhar e torcer por mim ao longo do desenvolvimento desta tese. Tenho certeza que nossa amizade é eterna. Um beijo no coração e sucesso em sua caminhada. Mario, o amigo mais cheiroso de todos os tempos. Você é um amor de ser humano, além de ser extremamente competente. OBRIGADO POR TUDO. BJSSSS!!!

Rivani e Cleverson, serei eternamente grato por todo o carinho e amor para comigo e minha família nesses anos de amizade. Que Deus continue abençoando vocês e toda a sua família. GRATIDÃO!!!!

Gostaria de expressar meu respeito a minha ex-companheira (Lizandra), que esteve comigo durante um período importante dessa caminhada. Desejo tudo de melhor para você ao longo de sua vida. OBRIGADO!!!

Agradeço a Marinalva pelos cuidados, torcida e carinho ao longo de minha trajetória. OBRIGADO!

A Fábio Reis, Marcia Reis, Lu, Diógenes, Heliton, Cláudia e Leveza pela força, apoio e torcida ao longo desta caminhada. OBRIGADO!!

Aos demais sobrinhos queridos (Vitor, Aninha, Jonas, Davi, Liz, Pérola, Lucca, Ayana), sem o sorriso de cada um de vocês os caminhos trilhados até aqui seriam mais dolorosos. TIO AMA!!!

Yuji, Glênon, Rose, Renata, Tiago, João, Pedro e Bel, vocês foram as primeiras pessoas a me receberem em Amargosa. Obrigado pelo carinho de vocês. Ao tento, quero agradecer por tudo que fizeram por mim e por minha família. Serei eternamente grato. OBRIGADO!!!

João Rocha e Elizete da Silva, o que seria de mim sem o acolhimento de vocês? Tenho muito orgulho e satisfação em fazer parte da vida de vocês, seres humanos nobres e honestos. Obrigado pelo cuidado, carinho e atenção para com esse “perdido”. Que Deus continue abençoando a vida de vocês. “QUE HORROR!!!” AMO VOCÊS!!!

Sr. Israel, é uma honra viver e compartilhar com o senhor tantas vivências. Obrigado pelo carinho. GRATIDÃO!!!

Aos meus alunos, gostaria de agradecer pelas batalhas e por exercerem uma forte influência para que eu continue buscando o crescimento profissional que tanto almejo.

Aos colegas do Centro de Formação de Professores (CFP), da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em especial da Área de Física e Sociedade. Reitero meu respeito e gratidão pela parceria ao longo desses quase oito anos de trabalho. Agradeço também pela oportunidade a mim concedida de realizar boa parte desta pesquisa afastado de minhas atividades em sala de aula. Obrigado Cleidson, Diana, Glênon, Willien, Serginho, Poliana, Polianne, Priscilla, Suellen, Lucas, Oráhcio e Fábio Santos.

Diana, obrigado pelo carinho, respeito e parceira ao longo do desenvolvimento desta tese. Que Deus continue abençoando grandemente a sua vida e a de toda sua família. GRATIDÃO!!!

Gredson, obrigado pela amizade meu parceiro. Desejo uma vida longa e plena para você e sua família. OBRIGADO!!!

Nanci, mulher guerreira com um coração nobre. Agradeço a Deus pela sua amizade e carinho ao longo desses anos. Desejo que Deus continue abençoando você e sua família. OBRIGADO!!!

Graciethe, obrigado pelos conselhos, cuidado, ajuda e incentivo ao longo dessa caminhada. Em breve comemoraremos seu doutoramento. Para mais, reitero meu respeito e torcida para que você continue lutando pelos seus objetivos de vida. OBRIGADO!!

Nesses quase 8 (oito) anos em Amargosa eu trabalhei e convivi com grandes profissionais que me apoiam e torcem muito por mim. Muitos desses, para além dos compromissos profissionais, fizeram parte de muitas resenhas que foram fundamentais para o amor que hoje tenho por essa linda cidade. Obrigado Mara, Gilberto, Leandro Diniz, Ameson, Déa, Ozana, Ivanise, Gerlan, Gil Luciano, Kelly, Gilson, Cláudia, Creuza, Cláudio, Leandro Diniz, Lucas Bonina, Manu, Gredson, Geisa, Berna, Francisco, Yuji, Glênon, Paulo Jackson, Tharisa, André Galvão, Belmiro, Rodrigo, Alan, Rosângela, Fafá, Fábio Josué, Terciana, Mário, Belo, Dori, Clarivaldo, Arlin, Aline, Gerônimo, Heder Peixoto, Juvenil, Lilian, Rosângela, Djeison, Dani, Virgílio, Marcos, Robinho, Arlin, Ricardo Pacheco, Maíra, Thaine, etc..

Em Amargosa encontrei seres humanos que fazem uma tremenda diferença em minha vida. Vocês são parcerias para todas as horas, principalmente nos momentos difíceis. Obrigado: Silvânia (Eu te amo de paixão, admiro o ser humano que és, além de uma mãe dedicada e carinhosa. Espero que Deus continue abençoando sua vida e que eu possa estar sempre ao seu lado); Santana (Um homem trabalhador e honesto, obrigado pelos cuidados ao longo desses anos, que Deus continue abençoando sua vida); Cida Fit Dance (Você é a mamãe do ano, que Deus te ilumine grandemente ao longo de sua vida. Obrigado pelo carinho e pela oportunidade de fazer parte da vida de seu filho); Léo Santos, meu fechamento (Homem de bons valores que chega dar raiva, rrsrrsrrs. Que papai do céu continue abençoando sua vida); Pongue (Obrigado pela torcida e carinho); Mily, “a loba” (Uma mãe arretada, guerreira e malhada); Léo HC, Davi, Tais e Fred (Obrigado pela torcida durante minha caminhada). Espero que a realização deste trabalho possa, de alguma maneira, inspirar vocês. GRATIDÃO!!!!

Aos membros da banca, agradeço por aceitarem o convite e pelas excelentes contribuições ao meu trabalho. GRATIDÃO!!!

Também gostaria de agradecer a minha psicóloga Mariana pelo cuidado e atenção durante esse último ano. Sem os seus cuidados essa missão seria muito mais difícil. GRATIDÃO!!!

Aos meninos e meninas da periferia de todo o Brasil, em especial do subúrbio ferroviário de Salvador, eu gostaria de dedicar uma canção. Esse samba (Clareou) é de composição de Rodrigo Leite e Serginho Meriti, eternizada nas vozes de Diogo Nogueira e Xande de Pilares:

A vida é pra quem sabe viver
Procure aprender a arte
Pra quando apanhar não se abater
Ganhar e perder faz parte
Levante a cabeça, amigo, a vida não é tão ruim
Um dia a gente perde
Mas nem sempre o jogo é assim
Pra tudo tem um jeito
E se não teve jeito ainda não chegou ao fim
Mantenha a fé na crença
Se a ciência não curar
Pois se não tem remédio
Então remediado está
Já é um vencedor
Quem sabe a dor de uma derrota enfrentar
E a quem Deus prometeu, nunca faltou
Na hora certa o bom Deus dará
Deus é maior!
Maior é Deus, e quem tá com Ele
Nunca está só
O que seria do mundo sem Ele?
Chega de chorar
Você já sofreu demais, agora chega
Chega de achar que tudo se acabou
Pode a dor uma noite durar

Mas um novo dia sempre vai raiar
E quando menos esperar, clareou
Clareou, ô, ô, ô, ô...

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo investigar como uma proposta didática, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação e pelo uso didático da argumentação, pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e para sua aprendizagem, assim como para o processo de construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton, dos estudantes do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana. Dessa forma, almejamos contribuir com a área de ensino de ciências, em especial com o Ensino de Física, ao produzir conhecimentos, de natureza teórica e prática, sobre a interface que envolve o uso da argumentação na formação inicial de professores. Por consequência, foram gerados resultados capazes de colaborar para a elaboração de um panorama sobre os efeitos dessa interface no ambiente de sala de aula. A tese é apresentada no formato *multipaper* e a metodologia adotada para a pesquisa é qualitativa, sendo baseada em algumas características da *Design Research*. Esse tipo de abordagem metodológica consiste na realização de etapas ou fases cíclicas compostas por reflexões e análises sistemáticas, capazes de garantir, ao final do processo, certo conhecimento e afirmações teóricas e práticas sobre a proposta didática. O padrão de argumento de Toulmin (2006) foi adotado como referencial teórico de análise e como modelo para construção de argumentos. A proposta didática foi aplicada na disciplina de História da Física e Ensino I, do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública localizada no estado da Bahia. Os dados foram coletados por meio da gravação, em vídeo, das interações entre os estudantes durante atividades em pequenos grupos, das discussões entre os grupos mediadas pelo professor, do pré-teste e dos argumentos escritos produzidos, de maneira individual e coletiva, pelos estudantes. A coleta também ocorreu a partir do registro em diário de bordo das descrições e reflexões das atividades realizadas ao longo da proposta didática. Para realização da análise dos argumentos dos estudantes, foi realizada a transcrição dos vídeos com as discussões ocorridas durante o curso. Para tanto, foram desenvolvidos critérios de análise e adaptamos outros da ferramenta analítica proposta por Penha e Carvalho (2015). Os resultados permitiram concluir que a proposta didática contribuiu para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e para sua aprendizagem, assim como para o processo de construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton, haja vista que: (1) os futuros professores de Física mobilizaram conhecimento científico específico para fundamentar seus argumentos; (2) que as atividades em pequenos grupos e entre grupos com mediação do professor contribuíram para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton, a partir de interações sociais que ocorreram por intermédio da linguagem; (3) durante a discussão entre os grupos o professor adotou algumas estratégias para promover uma interação discursiva e incentivar o envolvimento dos alunos na construção de argumentos; (4) o texto de natureza histórica forneceu elementos para que os alunos se envolvessem em interações discursivas durante o processo de construção coletiva de um argumento para explicar a causa da manutenção da órbita dos planetas.

Palavras-chaves: Terceira Lei de Newton; Gravitação Universal newtoniana; Argumentação; História das Ciências.

ABSTRACT

This work aims at investigating how a didactic proposition, characterized by the explicit teaching of argumentation and by the didactic use of argumentation, may contribute to the improvement of the skill of constructing arguments on Newton's Third Law, and to the learning of this Law, as well as to the process of construction of a collaborative argument on Newton's Law of Universal Gravitation by undergraduate Physics students at a public university in the state of Bahia. Thus, this work seeks to contribute to the realm of Science Teaching, particularly Physics teaching, producing theoretical and practical knowledge on the interface which includes the use of argumentation in the basic education of teachers. The thesis is presented in the multipaper format, with qualitative research methodology, based on features of Design Research. This type of methodological approach consists of the fulfilling steps or cyclical phases made of reflections and systematic analyses capable of ensuring certain amount of knowledge, by the end of the process, as well as theoretical and practical assertions concerning the didactic proposition. Toulmin's (2006) argumentation pattern was used as theoretical frame of analysis and as a paradigm of argument construction. The didactic proposition was applied to the courses History of Physics and Teaching I, in the undergraduate program in Physics, at a public university in the state of Bahia. The data were collected through video recording of interaction between students, during the activities within small groups, discussions between the groups mediated by the teacher, pre-test and written arguments produced individually and collectively by the students. The data were also gathered from the descriptions and discussions throughout the proposition registered in logbooks. For the analysis of the students' arguments, the videos with discussions carried out throughout the course were transcribed. For that purpose, criteria of analysis were developed and other criteria were adapted from the analytical tool proposed by Penha and Carvalho (2015). The results allowed concluding that the didactic proposition contributed to the improvement of the ability to create arguments regarding Newton's Third Law and its understanding. It also contributed to the process of construction of a joint argument on Newton's Law of Universal Gravitation, considering that: (1) the future Physics teachers fostered particular scientific knowledge in order to substantiate their arguments; (2) the activities carried out within small groups and between groups mediated by the teacher contributed to the learning of Newton's Third Law, stemming from the social interactions that occurred through language; (3) during the discussion between the groups, the teacher adopted strategies to foster discursive interactions and stimulate the participation of the students in the construction of arguments; (4) the historical texts provided the students with elements that allowed them to take part in discursive interactions during the process of collective construction of an argument to explain why the planets stay in orbit.

Keyword: Newton's Third Law; Newton's Law of Universal Gravitation; Argumentation; Science History.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Curricular Comum
EF	Ensino de Física
FAPESB	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia
GU	Gravitação Universal
HC	História da Ciência
HFC	História e Filosofia da Ciência
IFBA	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia
LAHCIC	Laboratório de História das Ciências
NEPDEC	Núcleo de Estudos e Preparação Docente em Ciências
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PPGEFHC	Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências
REUNI	Residência Universitária da Universidade Estadual de Feira de Santana
SD	Sequência Didática
TD	Transposição Didática
UEFS	Universidade Estadual de Feira de Santana
UFBA	Universidade Federal da Bahia

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	22
Caminhos percorridos	22
Contextualização teórica	27
Problema de pesquisa.....	35
Objetivos	39
Objetivo geral:	39
Objetivos específicos:	39
Aspectos metodológicos gerais e estrutura da tese	40
REFERÊNCIAS.....	49
CAPÍTULO 1 - O PAPEL DA TERCEIRA LEI NO DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE INTERAÇÃO MÚTUA PRESENTE NA TEORIA DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL DE NEWTON	57
CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DE UMA PROPOSTA DE ENSINO VOLTADA PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABILIDADE DE CONSTRUIR ARGUMENTOS NO ENSINO DE FÍSICA	109
CAPÍTULO 3 - O PAPEL DA ARGUMENTAÇÃO NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM DA TERCEIRA LEI E NEWTON	160
CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO COLETIVA DE UM ARGUMENTO SOBRE A GRAVITAÇÃO UNIVERSAL DE NEWTON.....	221
CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS.....	22277
REFERÊNCIAS COMPLETAS.....	286
Anexo A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	299
Anexo B - Ementa da disciplina de História da Física e Ensino I	303
Anexo C - Lista de símbolos utilizados na transcrição	307
Apêndice A - Turnos de fala que contém o episódio argumentativo analisado que envolveu a construção do argumento coletivo elaborado pelo grupo A sobre o movimento segundo Aristóteles	309
Apêndice B - Turnos de fala que contém o episódio argumentativo analisado que envolveu a construção do argumento coletivo elaborado pelos grupos A, B e C para resolver o problema 2 sobre a Terceira Lei de Newton.....	320
Apêndice C - Roteiro sobre o modelo de Toulmin.....	327
Apêndice D - Pré-teste para avaliação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre a Terceira Lei de Newton	331
Apêndice E - Turnos de fala que contém o episódio argumentativo analisado que envolveu a construção do argumento coletivo elaborado pelos grupos A para resolver o problema 1 sobre a Terceira Lei de Newton.....	336
Apêndice F - Turnos de fala que contém o episódio argumentativo analisado que envolveu a construção do argumento coletivo elaborado pelos grupos A para resolver o problema 1 sobre a Terceira Lei de Newton.....	342

Apêndice G - Turnos de fala que contém o episódio argumentativo analisado que envolveu a construção do argumento coletivo entre os grupos com mediação do professor para resolver o problema 1 sobre a Terceira Lei de Newton..... 346

INTRODUÇÃO

A escrita de si tem um papel estruturante com relação às experiências de formação, uma vez que, ao desencadear o questionamento sobre as 'escolhas, as inércias e as dinâmicas', vamos entendendo o que vivemos e o que faremos com o que vivemos, já que esse escrever/pensar favorece o 'embate paradoxal entre o passado e o futuro em favor do questionamento presente. (CATANI et al., 2006, p. 24).

A epígrafe acima nos mostra a importância de escrevermos e pensarmos acerca da nossa trajetória. Não podemos “dar as costas” para nossa história de vida, pois são as experiências que vivemos que nos tornam quem somos. Pensar meu caminho de estudante/professor/pesquisador amplia meu processo de formação e me mostra novas dimensões sobre o tema de pesquisa que venho desenvolvendo.

Sendo assim, a princípio, vou apresentar alguns aspectos da minha trajetória formativa com o objetivo de destacar como essa se relaciona com as escolhas realizadas para a construção dessa tese. Posteriormente, realizo uma discussão sobre o tema do trabalho, com a finalidade de apresentar o problema de pesquisa, os objetivos que norteiam esse estudo, a metodologia e a estrutura da tese.

Ratifica-se que pensar essas questões agora e refletir sobre o meu percurso de formação e profissão tem relevância no entendimento dos motivos que me conduziram ao tema da pesquisa e, assim, posso “dar forma ao vivido.” (DELORY-MOMBERGER, 2008). Dito de outra forma, vou elaborando as situações vividas enquanto estudante da Educação Básica, na academia, na experiência como professor e como pesquisador e vou encontrando novos significados para a experiência no doutorado e ao próprio desenvolvimento do projeto de pesquisa idealizado.

Dessa forma, é minha intenção, a partir de então, falar brevemente sobre minha trajetória de formação na Educação Básica, o ingresso no curso de Física da Universidade Federal de Feira de Santana (UEFS) e algumas experiências formativas e profissionais vividas.

Caminhos percorridos

“É difícil a qualquer ser humano dar as costas à própria biografia, às suas experiências de vida e às consequências delas para a formação

do que o constitui como indivíduo, 'àquilo que o torna o que é'."
(JESUS, 2007, p.14)

Na epígrafe acima, Jesus (2007) fala sobre a importância de não se “dar as costas” à nossa história de vida, pois são nossas experiências que nos tornam o que somos. E, assim, pensando sobre o momento que agora vivo nesse processo de doutoramento, analiso minha trajetória de vida, meu processo formativo/profissional e busco, enquanto pesquisador aspirante, aquilo que me constitui como indivíduo, já que esse é o fio condutor que une os diferentes vieses ligados à realização desse trabalho.

Entendo, assim, que rememorar os caminhos percorridos permite que nos deparemos com um universo rico de possibilidades. É nesse sentido que reflito, inicialmente, sobre minhas experiências enquanto estudante do ensino básico, haja vista, assim como afirma Souza, que:

A lembrança remete o sujeito a observar-se numa dimensão genealógica, como um processo de recuperação do eu, e, a memória narrativa, como virada significante, marca um olhar sobre si em diferentes tempos e espaços, os quais se articulam com as lembranças e as possibilidades de narrar experiências. (SOUZA, 2007, p. 63)

E é narrando essas experiências que sigo pensando, inicialmente, sobre minha vivência escolar na Educação Básica. Durante todo esse período, frequentei escolas públicas na cidade de Salvador e região metropolitana. Desde o primeiro contato com a Física vivi experiências negativas com professores, muitas vezes, sem formação específica na área que estavam ministrando aulas. Sempre muito conteudistas, os docentes não se preocupavam em entrelaçar os conteúdos com questões sociais e os assuntos e temáticas eram trabalhados sem nenhuma contextualização com o contexto e história de vida dos estudantes. Ainda assim, conseguia me interessar pela área, mas estava convicto de que os assuntos deveriam ser trabalhados de uma forma mais contextualizada.

Ciente de que todo professor constrói e reconstrói sua identidade docente e vai aprimorando seus conhecimentos a partir dos exemplos de professores que perpassaram por sua trajetória escolar, tanto no nível básico quanto no superior, e por meio de sua própria experiência docente (PIMENTA; LIMA, 2012), é importante pensarmos sobre os professores que tivemos. Por isso, concordo que “[...] é

necessário sair da ilha para ver a ilha”, assim como nos diz Saramago (1998, p. 27), ou seja, temos que olhar para o nosso interior para melhor nos entendermos e reconhecemos o que nos move enquanto seres humanos e educadores. Sendo assim, venho agora destacar algumas das experiências que marcaram minha trajetória de vida com forte impacto sobre o meu perfil profissional.

Em 1999 enquanto aluno da oitava série (atualmente 9º ano) da Escola Reitor Miguel Calmon, popularmente conhecida como SESI Retiro, fui impedido de participar da Feira de Ciências, pois minha personalidade ativa foi interpretada pelo professor de Ciências como falta de competência para realizar as atividades necessárias durante o referido evento. Ficar sentado o tempo todo, em silêncio, sempre foi uma tarefa difícil para mim enquanto estudante. Em contrapartida, sempre tive bons resultados em atividades escolares que me colocavam fora dessa estrutura engessada. Porém, não me saía tão bem enquanto agente passivo, um estudante que devia apenas memorizar toda e qualquer informação oriunda do professor. Como reflexo dessa triste lembrança, percebo hoje que fui me formando como professor a partir de situações como essa. Enquanto docente, sempre procurei envolver meus alunos em situações nas quais eles tenham a oportunidade de participar de todo o processo de ensino, pois reconheço que o desenvolvimento deles não ocorre pelo simples ato de memorizar o que o professor fala.

Uma outra lembrança importante na minha trajetória vem da época que cursei o Ensino Médio. Durante o último ano do Ensino Médio, tive a honra de conhecer o professor Ricardo, popularmente conhecido como Cem, que foi fundamental para criar dentro de mim a possibilidade de crescimento social por intermédio do acesso ao Ensino Superior, algo que não era comum no contexto social onde eu cresci. Reconheço que não é fácil enxergar na educação essa oportunidade quando você nasce em uma família que desde sempre foi ensinada a ser mão de obra barata de um sistema que explora o trabalhador para manter sua condição social de classe opressora.

Em 2002, por orientação de Cem, cheguei ao Conceito X, um cursinho pré-vestibular comunitário voltado para alunos carentes da Itinga (bairro de Lauro de Freitas, região metropolitana de Salvador, local onde eu residia). Mesmo a mensalidade, de R\$50 (cinquenta reais), não sendo alta para os valores da época,

chegou o momento em que não conseguiria mais pagá-la. Entretanto, o que pareceu ser um fator impeditivo para a continuação da minha vontade de ingressar na universidade, se transformou quando recebi a proposta de ser responsável pela abertura e limpeza do cursinho. E foi assim, graças a essa grande oportunidade, que continuei meus estudos e passei no vestibular no segundo semestre de 2003.

Refletindo sobre isso agora, lembro da música “Andança”, eternizada na voz de Beth Carvalho, e nos versos que dizem: “Vim, tanta areia andei, da lua cheia eu sei, uma saudade imensa”. E nesse encontro com a memória, recheado de saudade, que vou lembrando da minha andança nesse período e fico mais ciente dos percalços sociais que atingem alguns dos estudantes do Centro de Formação de Professores (CFP), meu local de trabalho e campo empírico de desenvolvimento da pesquisa. Os estudantes do CFP são, em sua grande maioria, oriundos de famílias pobres do Recôncavo Baiano.

No meu trabalho como professor do CFP, consciente da realidade e dos desafios enfrentado pelos meus alunos, procuro me manter conectado ao dia a dia deles com o objetivo de construir condições pelas quais eles possam superar as mais diferentes adversidades para prosseguir com seus estudos com qualidade. Para além disso, não deixo de ser exigente para tentar garantir uma boa formação para eles. Assim, reconheço que preciso me empenhar cada vez mais para contribuir na formação de um ser humano que, para além das dificuldades que a carga horária de estudos exige, também precisa superar as necessidades básicas de qualquer ser humano (se alimentar, ter o que vestir, onde morar, entre outras coisas).

E pensando nesses elementos que rodeiam a vida dos meus estudantes e impactam nos estudos deles, vou rememorando também minha trajetória enquanto estudante universitário. Em 2004, saí de Salvador para cursar Licenciatura em Física na Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), no interior da Bahia. No mesmo ano, passei a morar na Residência Universitária (REUNI) dessa universidade. Nesse espaço, vivi experiências fantásticas, aprendi a conviver e respeitar a diversidade, seja ela de caráter religioso, social, de gênero, musical etc..

Logo no primeiro semestre do curso, tive contato com a História e a Filosofia das Ciências, a partir da disciplina de Fundamentos de Física I, ministrada pelo

professor Elder Sales Teixeira, que é meu orientador desde o mestrado. Logo nesses primeiros contatos, a disciplina Fundamentos de Física I despertou em mim a consciência sobre a possibilidade de um Ensino de Física mais contextualizado, que levasse em consideração o contexto de produção da ciência e os nossos contextos sociais e culturais. O professor Elder não abordava os assuntos de maneira somente conceitual, mas sim a partir de uma contextualização histórica e filosófica, ele fazia uma abordagem contextual do Ensino de Física.

A partir de então, passei a refletir sobre a importância de se incluir elementos de História e Filosofia da Ciência (HFC) na formação dos estudantes de licenciatura para que estes pudessem ter outra atuação como professores de Física. Em 2010, coleei grau e passei a ministrar aulas em escolas e cursinhos particulares de Feira de Santana e região, buscando sempre criar situações didáticas mais contextualizadas. Em 2011, iniciei minha participação no grupo de pesquisa Núcleo de Estudos e Preparação Docente em Ciências (NEPDC) na Universidade Federal da Bahia (UFBA) com o objetivo de iniciar minha formação enquanto professor/pesquisador. Ainda por influência da disciplina de Fundamentos de Física I, continuei refletindo sobre os fundamentos históricos e epistemológicos da Física e meu interesse de estudo sempre esteve voltado para o uso didático da HFC no Ensino de Física (EF) a partir de uma abordagem histórico-filosófica.

Foi assim que ingressei, em 2012, no Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (PPGEFHC), com o objetivo de analisar as estratégias de Transposição Didática (TD) adotadas pelos autores de teses e dissertações brasileiras, ao elaborarem propostas didáticas de Física orientadas por abordagens histórico-filosóficas. Em 2014, defendi minha dissertação de mestrado: “Uma análise das propostas didáticas para o Ensino de Física orientadas por abordagens histórico-filosóficas”, com a perspectiva de estar contribuindo para aproximar de forma efetiva e com exemplos empíricos, a História das Ciências do Ensino de Física. Os resultados apresentados por essa pesquisa, que analisou como os autores de propostas didáticas de Física enfrentam o desafio de realizar o processo de TD da História das Ciências para o Ensino de Física, forneceu uma gama de recomendações sobre a utilização empírica desse tipo de abordagem em contextos reais de sala de aula.

Para além do crescimento profissional, o trabalho desenvolvido no mestrado me proporcionou um crescimento pessoal com forte reflexo na construção de minha identidade docente. Por orientação do professor Elder Teixeira, aprendi a valorizar o conhecimento dos diferentes atores que compõem o ambiente de ensino, além de respeitar a autonomia destes, como um aspecto fundamental para o seu desenvolvimento pessoal e profissional. O referido professor carrega valores pessoais e profissionais de respeito para com o outro, que molda minha identidade enquanto um sujeito que almeja, por intermédio da educação, contribuir para um mundo melhor.

A partir do desenvolvimento da pesquisa de mestrado foi possível, entre outras questões, corroborar a existência de uma assimetria entre argumentos teóricos e intervenções práticas sobre a abordagem histórica em ambientes reais de sala de aula, assim como alguns desafios que precisam ser superados para aproximar esse tipo de abordagem do ensino de ciências, em especial, do Ensino de Física. Ademais, por influência das discussões realizadas no Grupo de Ensino, História e Filosofia da Física da UEFS, coordenado pelo professor Elder Sales Teixeira, tive contato com a argumentação, mais particularmente, com o modelo de argumento de Toulmin (2006). Como consequência, ingressei no doutorado em 2017 com um projeto desenvolvido para se debruçar sobre indagações de ordem teóricas e práticas sobre o uso da abordagem histórica e da argumentação no EF. Portanto, esta pesquisa é resultado de um desafio que resolvi encarar e me aprofundar a fim de contribuir para a elaboração de um panorama a respeito do uso didático da História das Ciências e da argumentação no EF, buscando assim proporcionar um ensino mais contextualizado para os meus alunos.

Contextualização teórica

A utilização da abordagem histórica no ensino de ciências, em especial no Ensino de Física vem, reiteradamente, sendo apontada como uma estratégia capaz de contribuir para a construção de um ambiente favorável à aprendizagem de conceitos científicos, especialmente, em um contexto em que a formação de cidadãos capazes de atuarem de forma ativa na sociedade, aptos a refletirem sobre os limites e potencialidades do conhecimento científico é um dos objetivos

almejados pelo ensino de ciências no Brasil (BRASIL, 2020). Assim, o ensino de ciências deve ir além da compreensão de conceitos e oportunizar o envolvimento dos alunos em situações que possibilitem o desenvolvimento da capacidade de analisar como esse conhecimento é socialmente construído, “criando oportunidades para que os estudantes compreendam a dinâmica da construção do conhecimento científico” (BRASIL, 2020, p. 550).

A literatura da área de ensino de ciências (FREIRE-JÚNIOR., 2002; MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 2001; SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018), vem destacando possíveis contribuições para o uso didático da História das Ciências para a educação científica. Ao mesmo tempo em que evidencia a escassez do número de trabalhos capazes de validar empiricamente os benefícios atribuídos a esse tipo de abordagem para o ensino de ciências. Nesse sentido, pesquisas desenvolvidas nos últimos anos (FORATO, 2009; SILVA, 2014; SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018; TEIXEIRA; GRECA; FREIRE-JÚNIOR, 2012a; 2012b), têm defendido a necessidade do desenvolvimento de propostas que suscitem investigações sobre as implicações do uso didático da História das Ciências no Ensino de Física, a partir de estudos empíricos desenvolvidos no contexto da sala de aula. Paralelamente, têm procurado identificar e analisar os caminhos trilhados pelos profissionais que utilizaram esse tipo de abordagem em sala de aula, a fim de aproximar a História das Ciências do ambiente educacional.

Analisar como o conhecimento científico é socialmente construído envolve proporcionar aos sujeitos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem a capacidade de raciocinar e argumentar criticamente sobre ciências. Assim, aprender a argumentar é um aspecto importante para a alfabetização em ciências, pois favorece uma reflexão sobre os processos sociais de sua produção (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000; HAMALOSMANOGLU; VARINLIOGLU, 2019; KNIPPING, 2019; KUHN, 2010; MCNEILL et al., 2017; MENDONÇA; JUSTI, 2014; RUIZ-ORTEGA; ALZATE; BARGALLÓ, 2015; SIMON; ERDURAN; OSBORNE, 2006). Para além disso, conquanto se constate a relevância de compreender a influência da ciência na sociedade, professores não podem se inibir de realizar uma análise sobre suas implicações. Essa análise pode ser realizada mediante o uso didático da História das Ciências (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000; FREIRE-JÚNIOR, 2002).

Ao contrário de um ensino pautado na memorização e repetição de exercícios, o uso didático da História das Ciências no ensino de ciências, em especial no Ensino de Física, consegue relacionar os conhecimentos científicos trabalhados em sala de aula com os problemas que lhe deram origem (MATTHEWS, 1995). Assim, é capaz de enfatizar como os argumentos elaborados no contexto científico passam por processos de avaliação pelos seus pares, estando esses sujeitos a críticas e refutações (MENDONÇA; JUSTI, 2013). Para mais, a argumentação exerce um papel central no desenvolvimento de conhecimento científico (IBRAIM, 2018). Diante disso, deve ser ensinada e aprendida nas salas de aulas, como um componente essencial para o ensino de ciências (ERDURAN; OZDEM; PARK, 2015).

Na literatura especializada, é possível identificar contribuições relacionadas ao ensino de ciências por argumentação, a saber: conhecer os processos sociais do desenvolvimento científico; favorecer a formação de sujeitos críticos, capazes de tomarem decisões no âmbito científico e social; se apropriar da linguagem científica; desenvolvimento do letramento científico, voltado para um conhecimento crítico e coerente das ciências; envolvimento em práticas comuns no âmbito do desenvolvimento científico; apropriação do discurso científico; e compreensão sobre os processos sociais do desenvolvimento científico (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000; JIMENEZ-ALEIXANDRE, 2010; MCNEILL et al., 2017; RUIZ-ORTEGA; ALZATE; BARGALLÓ, 2015; SIMON; ERDURAN; OSBORNE, 2006). Para mais, o ensino de ciências fundamentado pela argumentação também é capaz de favorecer a aprendizagem de conceitos científicos (ERDURAN; OZDEM; PARK, 2015; SUTTON, 2005; VIEIRA; NASCIMENTO, 2009;).

Em meio à assimetria entre argumentos teóricos e intervenções práticas sobre a abordagem histórica em sala de aula, é possível inferir que o diálogo entre a História das Ciências e o Ensino de Física traz a possibilidade de articulação para a construção do processo argumentativo, em oposição a uma visão simplista que apresenta a ciência como uma sucessão de descobertas lineares, desprovida de relações sociais e históricas (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000). Logo, associar a História das Ciências ao Ensino de Física, com o objetivo de construir um ambiente favorável a construção de argumentos, concebe um cenário capaz de proporcionar aos futuros professores de Física o planejamento de atividades pedagógicas que possibilitem uma educação em ciências voltada para a

aprendizagem de conceitos científicos e para formação de cidadãos críticos, capazes de tomarem decisões, em seu cotidiano, e de transformarem sua realidade social.

O ensino de ciências por argumentação se justifica tanto por aspectos conceituais, quanto epistêmicos (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000; ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004; IBRAIM; JUSTI, 2018). Isso ocorre na medida em que a argumentação pode possibilitar situações pelas quais ocorra a aprendizagem de conceitos científicos, assim como o envolvimento dos estudantes em procedimentos próprios das ciências (LEITÃO, 2011). De qualquer maneira, torna-se importante que o professor, enquanto o sujeito mais experiente, possibilite que o estudante assuma sua autonomia durante o processo de ensino e aprendizagem por meio da argumentação. Assim, deve viabilizar o engajamento dos estudantes no processo argumentativo, que se caracteriza por interações sociais, a partir de um processo dialógico, para que estes possam expor suas ideias e, conseqüentemente, se envolverem em um processo de aprendizagem de conceitos (BAKER, 2009; IBRAIM; JUSTI, 2017).

O desenvolvimento científico não ocorre de maneira linear, nem a partir de um consentimento imediato e universal, mas por meio da discussão, do conflito e da argumentação, está diretamente relacionado com o uso de uma linguagem adequada para falar sobre ciências (LEMKE, 2000). Em consonância com Santos (2017), entendemos que esse tipo de linguagem exige que alegações sejam realizadas levando em consideração a “existência de evidências” e de “justificativas apoiadas em fundamentos científicos” (SANTOS, 2017, p. 17). Por conseqüência, o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos, contribui para a apropriação da argumentação sobre ciências e da linguagem científica, como práticas que fazem parte da cultura científica (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000; ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004; LEMKE, 2000). Assim, constitui um suporte fundamental para o “processo de letramento científico necessário a todo cidadão” (BRASIL, 2020, p. 551).

Apesar de possuir características próprias, o discurso científico se desenvolve sobre o alicerce da linguagem natural (VIEIRA; NASCIMENTO, 2009). Na linguagem científica o que prevalece é a estrutura, além de utilizar justificativas apoiadas em

fundamentos científicos para embasar alegações no campo das ciências (SANTOS, 2017). A linguagem natural segue uma sequência linear estabelecida por normas (MORTIMER et al., 1998). Esta última, é responsável pela comunicação em espaços informais, sendo relevante para a comunicação, interpretação e apropriação do conhecimento científico (VIEIRA; NASCIMENTO, 2009). A linguagem científica também é caracterizada pela ausência do agente, ou seja, pelo uso comum da voz passiva, enquanto na linguagem natural o agente está sempre presente (LEMKE, 2000; MORTIMER, 1998). De acordo com Mortimer, “a linguagem científica substitui os processos, expressos normalmente por verbos, por grupos nominais”, além de exigir “uma reflexão consciente de seu uso” (MORTIMER, 1998, p. 9).

Os sujeitos só são capazes de raciocinar cientificamente, se desenvolverem a habilidade de falar e escrever sobre ciências (LEMKE, 2000). Portanto, o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos é um aspecto fundamental no processo de ensino e aprendizagem no ensino de ciências. Assim, reconhecemos a argumentação como um aspecto relevante na aprendizagem de conceitos científicos (ERDURAN; OZDEM; PARK, 2015; VIEIRA; NASCIMENTO, 2009).

De acordo com a perspectiva histórico-cultural, a linguagem é entendida como um sistema simbólico fundamental para o desenvolvimento humano (OLIVEIRA, 2010; LIMA; SILVA, 2020; VYGOTSKY, 2001). Por consequência, operar com as palavras é unir o pensamento e a linguagem. Neste sentido, o pensamento é uma atividade interna e a linguagem, que pode ser expressa na forma de um argumento, é a externalização do pensamento. Nessa perspectiva, o processo de aprendizagem é resultado de um mecanismo gradual da internalização de conceitos (VYGOTSKY, 2001). No Ensino de Física fundamentado pela argumentação, o processo de aprendizagem de conceitos envolve um ato de internalização de signos (expressões, conceitos, significados etc.), culturalmente aceitos pela comunidade científica, que são assimilados e aplicados pelos estudantes em diferentes contextos (BARBOSA; BATISTA, 2018; PINO, 1993;).

Para Lemke (2000), cada gênero discursivo das ciências apresenta um parâmetro de organização da linguagem científica. Em nosso estudo, o modelo de argumento de Toulmin (2006) foi adotado como um modelo adequado para construir

argumentos sobre ciências, tendo em vista que a maneira pela qual os elementos se relacionam se enquadra na maneira pela qual os cientistas argumentam ao desenvolver teorias e explicações sobre o mundo natural (ADÚRIZ-BRAVO, 2014; ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004). Assim, esperamos que os estudantes argumentem utilizando evidências e que seus argumentos estejam apoiados em justificativas e fundamentos científicos. Apesar de não ser uma estrutura desenvolvida especificamente para o campo da educação, o modelo de argumento de Toulmin é amplamente utilizado pelos pesquisadores da área de ensino de ciências como modelo para construção e análise de argumentos em salas de aula (ABI-EL-MONA; ABD-EL-KHALICK, 2006; DRIVER; NEWTON, 1997; ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004; HAMALOSMANOGLU; VARINLIOGLU, 2019; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, 1998; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; RODRÍGUEZ; DUSCHL, 2000; MUNFORD; ZEMBAL-SAUL, 2002; RUIZ-ORTEGA et al., 2018; SANTOS, 2017; TEIXEIRA, 2010a; TEIXEIRA; GRECA; FREIRE-JÚNIOR, 2015).

Portanto, neste estudo reconhecemos o modelo de Toulmin (2006) como uma estrutura de argumento coerente ao gênero discursivo das ciências. O modelo de Toulmin (2006) descreve as características dos elementos que compõem um argumento e como estes se relacionam. Assim, constitui um modelo capaz de analisar a estrutura de argumentos científicos. O modelo de Toulmin (2006) é resultado de uma crítica aos lógicos formais, situados na década de 1930, que defendiam o modelo silogístico¹ como modelo padrão de argumentação. Diante disso, Toulmin propôs um modelo lógico que se opõe ao silogismo como paradigma universal de argumentação (TEIXEIRA et al., 2015).

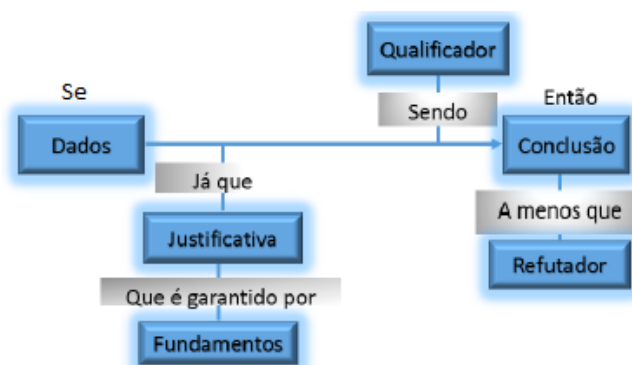
Inicialmente, a argumentação esteve associada aos componentes dos sistemas lógicos, retóricos e dialéticos. Do ponto de vista do paradigma clássico, a argumentação está vinculada à lógica como “a arte de pensar corretamente”, à retórica como “a arte de bem falar” e à dialética com “a arte do bem dialogar” (PLANTIN, 2008, p. 8-9). Na perspectiva lógica, a argumentação está voltada ao processo de identificar e avaliar o papel dos elementos constitutivos do argumento,

¹ Os argumentos silogísticos possuem a seguinte forma: Premissa secundária (premissa específica, como “X é um A”); Premissa principal (premissa geral, como “todos As são Bês”); Conclusão (implicação derivada de assumir as duas premissas, do tipo “então X é um B”). (TEIXEIRA et al., 2015, p. 207). De acordo com o modelo silogístico, a validade de um argumento é estabelecida a partir de sua forma (TOULMIN, 2006).

além da relação entre eles. Do ponto de vista da retórica, a argumentação está associada ao papel de convencer, enquanto na perspectiva dialógica, envolve o discurso entre sujeitos com diferentes opiniões (NAJAMI et al., 2020; PERELMAN, 1993; SANTOS, 2017).

O modelo de Toulmin (2006) é constituído de elementos lógicos básicos (Figura 1).

Figura 1 - Modelo de argumento de Toulmin (2006).



Fonte: Adaptado de Santos (2017, p. 53).

A qualidade de um argumento no modelo de Toulmin se verifica a partir da função desses componentes e da relação entre eles. Para este estudo, as seguintes definições foram usadas: **Dados (D)**: informações a partir das quais se chega a uma conclusão. O(s) dado(s), sem necessariamente remeter-se a uma ideia empirista, pode(m) ser uma afirmativa que seja aceita em um determinado campo de conhecimento; **Conclusão (C)**: afirmação realizada a partir dos dados. Tese defendida, que precisa estar apoiada por um dado para possuir mérito (SANTOS, 2017); **Justificativa (J)**: de natureza hipotética e geral, estabelece relação entre os dados e a conclusão. Entre outros termos, a justificativa possui a capacidade de legitimar a passagem entre os dados e a conclusão; **Fundamento (F)**: informações factuais e/ou conceituais que dão suporte à justificativa. Em outros termos, representa uma credencial para o estabelecimento da justificativa; **Qualificador modal (Q)**: termo utilizado para moderar e/ou reforçar a conclusão. Em outras palavras, Q é uma condição específica no argumento a partir da qual se pode considerar como válida a conclusão (TEIXEIRA; GRECA; FREIRE JR., 2015); **Refutador (R)**: especifica sobre quais circunstâncias a justificativa não é válida para dar suporte à conclusão, isto é, o refutador indica as particularidades que levam à

perda de autoridade da justificativa, devido às quais ela deixa de ser aceita; assim, a conclusão não pode ser autorizada pelos dados.

A partir desses elementos, um argumento pode ser resumido da seguinte forma: a **justificativa**, uma vez aprovado pelo **fundamento**, autoriza a **conclusão**, obtido a partir dos **dados**, sendo considerada o **qualificador**, a menos que haja um **refutador**. Portanto, um argumento descrito dentro deste modelo, em que cada elemento que o constitui cumpre seu papel, deve ser definido como um argumento coerente (TOULMIN, 2006). De acordo com Toulmin (2006), a tríade formada entre **dados**, **conclusão** e **justificativa**, é a forma mais elementar de um argumento.

A estrutura desenvolvida por Toulmin é campo-invariante, isto é, não varia e pode ser utilizada para avaliar a estrutura de um argumento em qualquer campo de conhecimento baseado na racionalidade. Os fundamentos são classificados como campo-dependentes, pois dependem da área de conhecimento na qual a argumentação se desenvolve. Na área de ciências, os fundamentos estão associados a leis e teorias aceitas pela comunidade científica (TEIXEIRA et al., 2015).

O desenvolvimento da habilidade de construir argumentos com base em evidências, justificados e apoiados em fundamentos científicos não ocorre de maneira espontânea, mas a partir da prática (KUHN, 1993; OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004; SANTOS, 2017; ZEMPLÉN, 2011). Em outros termos, a apropriação do padrão de Toulmin (2006), como um modelo de construção e análise de argumentos, não ocorre de maneira natural, ou seja, precisa ser ensinada de maneira adequada a partir de em ensino explícito. Em nosso estudo, o ensino explícito é caracterizado pela instrução aos estudantes de como construir argumentos segundo o modelo de Toulmin (2006), da relação entre os elementos que constituem um argumento e suas respectivas funções.

Na literatura especializada, encontramos trabalhos (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; RODRÍGUEZ; DUSCHL, 2000; OZDEM et al., 2013; SÁ; QUEIROZ, 2007; SIMON, ERDURAN; OSBORNE, 2006) que avaliam a argumentação dos alunos em sala de aula sem ensinar os alunos a argumentarem (ensino implícito de argumentação), ou seja, sem nenhum tipo de instrução direta sobre como argumentar e construir argumentos. O trabalho de Sá e Queiroz (2007), por exemplo, apesar de não ter

adotado uma instrução explícita, verificou a boa qualidade dos argumentos desenvolvidos pelos alunos de um curso de graduação em Química. Entretanto, ao final desse estudo os autores descrevem a dificuldade de identificar os componentes dos argumentos presentes nas falas dos alunos, assim como ocorreu com Erduran, Simon e Osborne (2004). Em razão disso, passam a defender a necessidade do ensino explícito da argumentação, como um método para o desenvolvimento de estratégias voltadas para a construção de argumentos (SÁ; QUEIROZ, 2007).

Baseado na perspectiva explícita, Santos (2017) analisou os argumentos elaborados pelos estudantes de um curso de graduação em Física, com o objetivo de investigar quais as características uma sequência didática, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação e pelo uso didático da História das Ciências, deve possuir para fomentar a argumentação e o entendimento da Gravitação Universal de Newton. Como resultado da análise dos argumentos construídos de maneira coletiva pelos estudantes, o autor concluiu que a sequência didática se mostrou eficiente em favorecer a ocorrência de interações argumentativas. Todavia, uma grande parcela das justificativas e fundamentos utilizados pelos alunos para apoiar suas conclusões, não são válidas dentro do conhecimento da Física. Como consequência, Santos (2017) inferiu que a sequência didática também não possibilitou a compreensão da Gravitação Universal. Para esse autor, o pouco tempo para aplicar uma intervenção com essas características, é uma das dificuldades para implementar esse tipo de intervenção no contexto da sala de aula. Com base nos resultados alcançados em seu estudo, Santos (2017) destaca a necessidade de mais pesquisas empíricas capazes de investigar a interface que envolve o ensino explícito da argumentação e o uso didático da História das Ciências.

Problema de pesquisa

O número de pesquisas sobre argumentação na educação em ciências tem aumentado nas últimas duas décadas (HAMALOSMANOGLU; VARINLIOGLU, 2019). Para além dos benefícios atribuídos ao papel da argumentação para o ensino de ciências, essas pesquisas apontam que a maioria dos professores sentem dificuldade de planejarem e/ou realizarem atividades orientadas em promover a

argumentação no contexto da sala de aula. Ademais, também destacam que a dificuldade de argumentar sobre ciências é um problema entre estudantes de diferentes níveis educacionais (RUPPENTHAL; SCHETINGER, 2017; SANTOS, 2017; SIMON; ERDURAN; OSBORNE, 2006; TEIXEIRA et al., 2010c).

A realização de instruções voltadas para a promoção da argumentação não é sinônimo do desenvolvimento de bons argumentos (MURPHY et al., 2018). Entretanto, em consonância com Kuhn (1993), reconhecemos que a habilidade de elaborar argumentos de boa qualidade, com base em evidências, precisa ser ensinada de maneira explícita e adequada (OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004; SANTOS, 2017). Em outros termos, reconhecemos que a performance dos estudantes no envolvimento de atividades voltadas para a argumentação, bem como a qualidade dos argumentos desenvolvidos por estes, pode apresentar melhores resultados com a realização de um ensino explícito de como construir argumentos (ARCHILA; MOLINA; MEJÍA, 2018; DAWSON; VENVILLE, 2010; OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004; SANTOS, 2017; ZOHAR; NEMET, 2002). Assim, partimos da hipótese que o ensino explícito da argumentação é uma estratégia com potencial de contribuir para superar algumas das dificuldades dos estudantes de argumentarem sobre ciências, além de favorecer a formação de sujeitos críticos e proporcionar a aprendizagem de conceitos científicos no contexto da formação inicial de professores de ciências.

Oportunizar o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos é um aspecto importante para que os futuros professores possam ensinar ciências fundamentada pela argumentação (IBRAIM; JUSTI, 2017; MCNEILL; KNIGHT, 2013; SANTOS, 2017; SIMON; ERDURAN; OSBORNE, 2006). Simon, Erduran e Osborne (2006), afirmam que analisar o desenvolvimento de argumentos de professores ajuda a orientar e desenvolver materiais voltados para esse tipo de prática, além de contribuir para a identificação de desafios que envolvem a implementação da argumentação no ensino de ciências. Assim sendo, o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos, apesar de não ser garantia, “favorece a reflexão e o entendimento dos professores sobre como ensinar ciências a partir da argumentação” (IBRAIM, 2015, p. 26).

O ensino explícito da argumentação também é capaz de favorecer a inserção de práticas argumentativas no ensino fundamental e médio, que pouco se envolvem na argumentação científica (OSBORNE, 2010; IBRAIM; JUSTI, 2016). Isso ocorre uma vez que a instrução aos professores de como construir argumentos, além da necessidade do desenvolvimento e disponibilidade de recursos pedagógicos e materiais instrucionais, entre outras coisas, é uma das maneiras de impulsionar a implementação da argumentação em diferentes contextos do ensino de ciências (IBRAIM; JUSTI, 2017; MENDONÇA; JUSTI, 2013; MURPHY et al., 2018; SÁ; QUEIROZ, 2007).

Nesse cenário, é importante que os cursos de formação de professores criem oportunidades para que os futuros docentes se envolvam na construção de argumentos, como um dos aspectos para o desenvolvimento de conhecimentos teóricos e práticos sobre o ensino de ciências orientado pela argumentação (IBRAIM; JUSTI, 2017). Para mais, existe a necessidade da realização de mais pesquisas para investigar estratégias de ensino voltadas para o desenvolvimento da argumentação em sala de aula que ensinem o estudante a elaborar argumentos no ensino universitário (ABI-EL-MONA; ABD-EL-KHALICK, 2006; ARCHILA; MOLINA; MEJÍA, 2018; MCNEILL et al., 2017; SANTOS, 2017; TEIXEIRA, 2010a;).

A Terceira Lei de Newton é um assunto importante para explicar o conceito de interação mútua presente na teoria da Gravitação Universal newtoniana. Conforme essa teoria, os planetas são retidos em suas órbitas por uma força que atua continuamente sobre eles e que varia com o inverso do quadrado da distância ao centro da órbita e na direção ao centro da mesma. Apesar disso, alguns livros e textos acabam descrevendo a Terceira Lei de maneira limitada, isto é, descrevendo a ação e a reação como se fossem duas interações e não uma única interação que atua de maneira simultânea em dois corpos (TEIXEIRA; PEDUZZI; FREIRE-JÚNIOR, 2010b). Assim, para além das razões descritas anteriormente, o estudo desenvolvido nesta tese também se justifica na medida em que não existem estudos sobre como o ensino explícito da argumentação pode favorecer o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton no contexto da formação inicial de professores de Física.

A argumentação faz parte de diferentes situações do cotidiano de nossa sociedade (LEITÃO, 2011), sendo reiteradamente reconhecida como uma abordagem fundamental para o processo de ensino e aprendizagem no ensino de ciências (OSBORNE; ERDURAN; SOMON, 2004; PORTO, 2018; RUIZ ORTEGA et al., 2018). De modo geral, a elaboração de argumentos possibilita a construção de conhecimento e da aprendizagem por meio do discurso, que está em acordo com a perspectiva histórico-cultural (NAJAMI et al., 2020). Na concepção de Archila (2015), o engajamento em discussões sobre questões científicas, que explora o processo de produção de uma determinada teoria, que pode ser realizado a partir do uso didático da História das Ciências, tem o potencial de favorecer uma aprendizagem conceitual de melhor qualidade. Contudo, é escasso o número de estudos que se debruçam em investigar como o ensino de ciências fundamentado pela argumentação pode contribuir para o processo de aprendizagem de conceitos científicos (BERLAND; REISER, 2010; HENDERSON et al., 2018).

Nesse direcionamento, partimos do pressuposto, do ponto de vista da educação, que uma proposta didática, caracterizada pelo uso didático da História das Ciências e pelo ensino explícito da argumentação, seja capaz de contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e de criar condições para sua aprendizagem, assim como para o processo de construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton. Considerando o exposto, foi formulado o seguinte problema de pesquisa: Como uma proposta didática, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação e pelo uso didático da argumentação, pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e para a sua aprendizagem, assim como para a construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton, dos estudantes de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana?

A escolha da Terceira Lei de Newton também se justifica na medida em que esse é um assunto contemplado na disciplina de História da Física e Ensino I do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana, onde a proposta foi aplicada e avaliada.

O estudo proposto nesta tese almejou contribuir com a área de ensino de ciências, especificamente sobre a interface que envolve o uso didático da História das Ciências e do ensino explícito da argumentação no Ensino de Física. Conseqüentemente, gerar resultados capazes de colaborar para a elaboração de um panorama sobre as implicações e efeitos dessa interface a partir de estudos empíricos desenvolvidos no contexto da formação inicial de professores. Assim, o estudo desenvolvido nesta tese também se justifica na medida em que pode possibilitar aos futuros professores de Física o desenvolvimento sobre conhecimentos sobre argumentação em si, isto é, conhecimentos sobre a estrutura básica de um argumento e sobre situações argumentativas, quanto aos conhecimentos pedagógicos.

A seguir, na forma de objetivos gerais e específicos, realizo uma apresentação do problema e dos subproblemas de pesquisa que fundamentam este estudo².

Objetivos

Objetivo geral:

- Analisar como uma proposta didática, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação e pelo uso didático da argumentação, pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e para sua aprendizagem, assim como para o processo de construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton, dos estudantes de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana;

Objetivos específicos:

- Analisar os argumentos originais de Newton sobre o desenvolvimento da Terceira Lei e do conceito de interação mútua presente na Teoria da Gravitação

² O projeto de pesquisa que fundamenta esta tese foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP), parecer de número 3.563.945. Seguindo as diretrizes da Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, compromissos éticos foram adotados e respeitados. Por meio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo A), a anuência para participação dos estudantes na pesquisa foi concebida, sendo está de caráter facultativo. A partir deste termo, foram apresentados os objetivos da pesquisa e as estratégias adotadas para garantir o anonimato dos estudantes no processo de desenvolvimento do estudo.

Universal, visando o desenvolvimento de um material didático para ser utilizado em uma proposta de ensino;

- Analisar as contribuições de uma proposta de ensino, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação, para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e da Terceira Lei de Newton;

- Analisar as contribuições de uma sequência didática, caracterizada pelo uso didático da argumentação, para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton;

- Analisar o processo argumentativo que culminou na construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton, durante uma atividade em grupo mediada pelo professor.

Aspectos metodológicos gerais e estrutura da tese

A tese é apresentada no formato *multipaper*, que Barbosa (2015) define como uma estrutura insubordinada. Dessa maneira, cada capítulo é apresentado na forma de artigo e possui seu próprio resumo, introdução, quadro teórico, metodologia, resultados, considerações finais e referências³ (BARBOSA, 2015). O formato tradicional é geralmente composto pela introdução, revisão de literatura, procedimentos metodológicos, apresentação dos resultados, discussão e conclusão (DUKE; BECK, 1999). Na concepção de Duke e Beck (1999), esse formato tradicional de teses e dissertações apresenta algumas limitações, a saber: alcance limitado da pesquisa; estrutura e extensão inapropriada para publicação em periódicos.

As motivações que corroboram a escolha do formato *multipaper* envolvem a possibilidade de proporcionar uma melhor circulação de nosso estudo dentro da área, uma vez que a publicação em revistas especializadas, alcança com mais facilidade os pesquisadores interessados em investigar esse tema, assim como professores que almejam utilizar esses artigos em suas aulas. Para mais, entendemos que a formação de um pesquisador também envolve o debate com os pares, que pode ocorrer a partir das críticas e sugestões dos árbitros das revistas

³ Os capítulos devem estar articulados para atenderem aos objetivos da pesquisa.

nas quais os artigos serão submetidos (DUKE; BECK, 1999; TEIXEIRA, 2010a). No Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA/UEFS) esse formato tem sido adotado nas teses e dissertações de diferentes áreas do ensino de ciências (BOAS, 2015; PAIVA, 2019; TEIXEIRA, 2010a).

Reconhecemos que a escolha desse formato também apresenta limitações. Por exemplo, a dificuldade de evitar uma repetição de algumas ideias que envolvem o trabalho e a interlocução entre os capítulos (TEIXEIRA, 2010a). Diante disso, ao longo da introdução procuramos elucidar a conexão entre os artigos que compõem esta tese. Além disso, no final do trabalho será apresentado uma conclusão geral, onde serão abordados os resultados dos vários artigos voltados para responder a problemática de interesse da pesquisa.

A orientação metodológica geral que norteia esta tese usa como referência algumas das concepções presentes na *Design Research*⁴, mas com adaptações em função do contexto e dos interesses da pesquisa. A pesquisa na perspectiva da *Design Research* tem a intenção de realizar uma análise sistemática do planejamento, desenvolvimento e avaliação de intervenções de ensino com o duplo objetivo de gerar soluções baseadas na pesquisa para problemas complexos na prática educativa e, concomitantemente, contribuir para o avanço de novos conhecimentos sobre as características dessas intervenções e dos processos de concepção e desenvolvimento delas em diferentes contextos (PLOMP, 2009; 2018).

Nesta tese, em consonância com a orientação metodológica adotada, propõe-se o desenvolvimento de uma proposta didática, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação e pelo uso didático da argumentação. A finalidade da proposta de ensino foi contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e para sua aprendizagem, assim como para o processo de construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton. A proposta didática foi aplicada e avaliada na disciplina de História da Física e Ensino I do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana.

Em conformidade com a finalidade da proposta didática e ao contexto de aplicação dela, este estudo apresenta os seguintes princípios de *design*:

⁴ Também definida como Pesquisa-Aplicação (PLOMP, 2018).

- Ensino explícito da argumentação propicia melhor habilidade de construir argumentos sobre conceitos científicos na formação inicial de professores de Física.

- O Ensino de Física pela argumentação pode favorecer a aprendizagem de conceitos científicos de estudantes de um curso de Licenciatura em Física.

Os princípios de *design* exprimem as características que orientam a construção de uma intervenção de ensino que foi investigada com o potencial de integrar uma teoria de ensino sobre uma área de estudo (PLOMP, 2009, 2018). Assim, os princípios de *design* são apostas teóricas, devidamente justificadas, que almejamos confirmar, reformular, até mesmo, negá-las com a aplicação da proposta didática.

Em conformidade com os princípios de *design* estabelecidos nesta tese, as características substantivas da proposta didática são:

A) Ensino explícito de argumentação: A apropriação do modelo de argumento de Toulmin (2006), enquanto um modelo compatível ao gênero discursivo das ciências, não ocorre de maneira espontânea. Assim, o ensino explícito é caracterizado pela instrução aos estudantes de como construir argumentos conforme o modelo de Toulmin (2006), da relação entre os elementos que constituem um argumento e suas respectivas funções;

B) Uso didático da argumentação: A argumentação é uma técnica de discurso que favorece a aprendizagem a partir de processos de interação social mediados pela linguagem. Assim, o uso didático da argumentação possibilita que os futuros professores de Física apliquem o modelo de Toulmin (2006) em atividades pró-argumentativas para construir argumentos ao longo de todo o processo de aplicação da proposta didática.

As características procedimentais associadas ao ensino explícito da argumentação são:

(1) Discutir a natureza argumentativa das ciências: O discurso da Ciência é argumentativo (KUHN, 1993);

(2) Apresentação e discussão do modelo de argumento de Toulmin: Conhecer os elementos do modelo de Toulmin, suas funções e como se relacionam.

As características procedimentais associadas ao uso didático da argumentação são:

(1) Discussão em pequenos grupos: A construção de conhecimento é uma atividade social. Através da interação com outros sujeitos se negociam, constroem e reconstróem significados coletivos, que podem dar conta das demandas do grupo;

(2) Discussão entre os grupos com mediação do professor: Proporcionar uma interação entre os alunos durante um processo de ressignificação dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos, a fim de construir um argumento coletivo de melhor qualidade, com mediação do professor, sujeito mais experiente.

As características substantivas definem o que a proposta didática deve ter, em sua essência, para que os objetivos educacionais sejam alcançados. Enquanto as características procedimentais são atividades de ensino que devem ser utilizadas diante da definição das características substantivas da proposta didática.

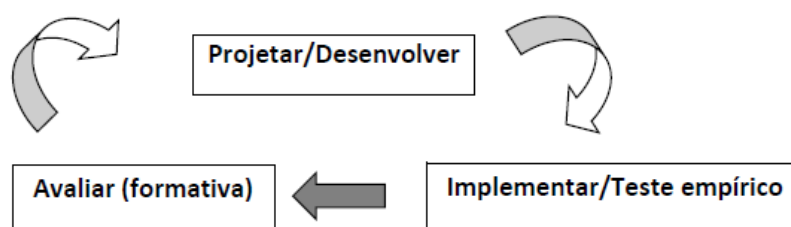
O uso didático da História das Ciências também foi pensado inicialmente como princípio de *design*, considerando-se que ela faz parte da proposta didática. Entretanto, em função do escopo do trabalho e, principalmente, pela dificuldade metodológica de analisar em qual medida o uso didático da História das Ciências contribui para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e para sua aprendizagem, assim como para o processo de construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton, apenas a contribuição do ensino explícito da argumentação e do uso didático da argumentação foram interesse de investigação desta tese. Entretanto, em futuras pesquisas, para além do doutoramento, essa pode ser uma questão de investigação.

O desenvolvimento de estudos na perspectiva da *Design Research*, envolve a realização de ciclos de testes de diferentes protótipos, aplicados em diferentes contextos e com um número crescente de participação de estudantes e professores (PLOMP, 2009, 2018). Esses estudos envolvem três fases: (1) pesquisa preliminar; (2) fase de prototipagem; e (3) fase de avaliação (PLOMP, 2009, 2018). Na pesquisa preliminar são estabelecidos, a partir de uma revisão de literatura, da análise do contexto de ensino e dos conhecimentos do docente, um quadro conceitual que deve orientar o estabelecimento dos princípios de *design* que fundamentam a intervenção. Na fase de prototipagem, caracterizada pela construção, desenvolvimento e avaliação formativa, os protótipos da intervenção são testados e aperfeiçoados. Essa fase, a partir de ciclos de investigação (Figura 2), é

caracterizada pela avaliação formativa, em que são realizadas reflexões a partir dos resultados de análise, que geram o aperfeiçoamento da intervenção de ensino. A fase de avaliação tem o objetivo de alcançar uma conclusão acerca das atividades que formam a intervenção, a partir de vários ciclos de prototipagem. Esta fase também resulta em novas recomendações e instruções para a melhoria da intervenção (PLOMP, 2009, 2018).

As etapas do processo cíclico presentes na *Design Research* podem ser ilustradas da seguinte forma:

Figura 2 - Ciclo de investigação de pesquisa em Design Research.



Fonte: Adaptada de Plomp (2009, p. 17).

Nesta tese, construímos, implementamos e investigamos o primeiro protótipo de uma proposta didática. Assim, realizamos um ciclo de prototipagem com avaliação formativa para o aprimoramento da proposta, a partir da análise dos princípios de *design* testados empiricamente. Como parte da pesquisa preliminar, realizamos uma revisão de literatura sobre o uso didático da História das Ciências e da argumentação no ensino de ciências. A revisão de literatura possui o objetivo de formar um suporte para o planejamento e desenvolvimento do protótipo da proposta didática.

Uma das características da *Design Research* estabelece que a pesquisa deve ser desenvolvida a partir da colaboração entre pesquisadores e os demais profissionais que compõem o ambiente educacional (BARBOSA; OLIVEIRA, 2015; PLOMP, 2009, 2018). Nesta tese, a proposta didática foi desenvolvida, aplicada e avaliada na disciplina de História da Física e Ensino I, que só tem uma turma, que é ministrada anualmente. Assim, existiu a impossibilidade de compartilhar a proposta didática, para que diferentes professores pudessem aplicá-la ao mesmo tempo, ampliando seu processo de análise. Portanto, a proposta didática foi aplicada em

um único contexto e não envolveu a participação de um número crescente de estudantes e pesquisadores.

Para mais, realizamos apenas um ciclo de prototipagem com avaliação formativa voltado para o aperfeiçoamento futuro da proposta didática. De acordo com a perspectiva metodológica da *Design Research*, os protótipos da intervenção devem ser inicialmente testados, posteriormente o resultado parcial deve ser usado para refinar o próximo protótipo. Por fim, a partir de vários ciclos de prototipagem, se atinge uma conclusão acerca das atividades que formam a intervenção (PLOMP, 2009; 2018).

O problema de pesquisa dentro dessa modalidade deve ser explicitada da seguinte forma: “Quais são as características de uma <intervenção X> com o resultado/propósito Y no contexto Z?” (PLOMP, 2018, p. 43), que é outra característica que também não foi adotado em nosso estudo. Nesta tese, os interesses de pesquisa estão voltados para entender como a estratégia didática pode contribuir para cumprir as finalidades da proposta didática. Para isso, propomos a estratégia em conformidade com a definição das características da proposta didática, que justifica a diferença na forma de fazer a pergunta de pesquisa.

O ponto de largada dos estudos dentro da *Design Research* é a identificação do problema de pesquisa sobre o qual se busca validar princípios (PLOMP, 2018). O nosso estudo envolve o duplo propósito de desenvolver uma proposta didática com a finalidade de contribuir com o ensino de ciências fundamentado pela argumentação e com a elaboração de princípios de *design* sobre essa área, que possa ser utilizado por outros pesquisadores interessados em inserir práticas argumentativas no ensino.

Após a definição do problema de pesquisa, iniciamos o processo de desenvolvimento da proposta didática (fase preliminar). O trabalho desenvolvido ao longo do mestrado (SILVA, 2014) foi extremamente importante na identificação de estratégias de ensino a serem implementadas na proposta didática, para que os objetivos de ensino e aprendizagem sejam alcançados. Posteriormente, na segunda etapa, o protótipo da proposta didática foi aplicado. Nesta etapa, ocorreu a avaliação formativa, a partir da reflexão e da avaliação dos princípios de *design* investigados, a

fim de concluirmos se as atividades que formam a posposta de ensino atendem às expectativas desejadas.

Na fase preliminar, outras pesquisas, ainda que desenvolvidas em contextos diferentes, são fontes relevantes de informação para a definição das características que compõem o protótipo de uma intervenção educacional (POLMP, 2018). Em nosso estudo, a primeira estratégia para o desenvolvimento da proposta didática foi adotar como referência as prescrições do uso didático da História das Ciências e da argumentação para o ensino de ciências, encontrados na literatura especializada (DAWSON; VENVILLE, 2010; KUHN, 1993; OSBORNE et al., 2004; SANTOS, 2017; ZOHAR; NEMET, 2002).

A disciplina de História da Física e Ensino I do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana, na qual a proposta didática foi aplicada e avaliada, é obrigatória, tem carga horária de 60h e é ofertada no 7º semestre⁵. A ementa propõe uma reflexão e uma contextualização de conceitos da filosofia grega da natureza até a Física Moderna (Anexo B). A escolha dessa disciplina, parte do pressuposto que o uso didático da História das Ciências cria condições para a ocorrência de discussões e tomada de posições com relação a assuntos científicos, que é uma prática legítima da ciência visto que os cientistas produzem argumentos durante o processo de construção de teorias, modelos e explicações científicas⁶ (ADÚRIZ-BRAVO, 2014; ARCHILA, 2015; ARCHILA; MOLINA; MEJÍA, 2018; MATTHEWS, 2014; SANTOS, 2017; TEIXEIRA et al., 2010c; ZEMPLÉN, 2011). Ademais, pode favorecer o planejamento de atividades que possam desenvolver nos futuros professores de Física a habilidade ou capacidade de “apropriação de conhecimentos científicos, considerando tanto seu produto [...] quanto à dimensão processual de sua produção” (DELIZOICOV et al., 2007, p. 184).

A carência de material didático adequado para o ambiente de ensino é um dos desafios específicos que devem ser enfrentados para aproximar o uso didático da

⁵ A disciplina foi ministrada no semestre 2019.1, entre os dias 19/08/2019 e 21/12/2019. Participaram da pesquisa 14 (catorze) alunos.

⁶ Em termos de conteúdo, a ementa da disciplina de História da Física e Ensino I é semelhante ao da disciplina de Fundamentos de Física I. Todavia, em conformidade com os objetivos da proposta de ensino, a avaliação na disciplina de História da Física e Ensino I envolve a construção de argumentos voltados para a resolução de problemas, que ocorreu no decorrer de toda a aplicação da proposta de ensino. Por outro lado, a disciplina de Fundamentos de Física I propõe a participação dos alunos nas aulas, a realização de seminários e a prova escrita como sugestões para o processo de avaliação dos alunos.

História das Ciências do Ensino de Física (BOSS, 2014; FORATO, 2009; SILVA, 2014; SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018). Diante disso, no primeiro capítulo, decidimos produzir uma reconstrução histórica dos argumentos originais utilizados por Newton no desenvolvimento da Terceira Lei e do conceito de interação mútua presente na teoria da Gravitação Universal newtoniana, para ser utilizado, junto a outros materiais, na proposta didática. O texto histórico deve fornecer informações suficientes para que os estudantes tenham condições de elaborar argumentos sobre esses temas. Assim, contribuir para que o uso didático da História das Ciências seja efetivado em sala de aula a partir de um material histórico inteligível. Conseqüentemente, favorecer a ocorrência de um debate conceitual capaz de explicitar o argumento newtoniano sobre esses temas e a construção de argumentos apoiados em conhecimento científico.

No segundo capítulo, diante da necessidade de contribuir para a discussão que envolve o papel do ensino explícito da argumentação, investigamos as contribuições de uma proposta de Ensino de Física, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação, para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos, sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton, de estudantes do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana. Nesse contexto, reconhecemos que a elaboração de argumentos, a partir do ensino explícito do modelo de argumento de Toulmin (2006), seja capaz de desenvolver nos futuros professores de Física uma atitude mais epistêmica em relação à ciência, com potencial de contribuir para o processo de aprendizagem de conceitos (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000; ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004; HENDERSON et al., 2018; IBRAIM; JUSTI, 2018; MENDONÇA; JUSTI, 2013; TEIXEIRA et al., 2010c).

Com o propósito de contribuir com a discussão que envolve o potencial da argumentação na aprendizagem de conceitos científicos, o objetivo do artigo do terceiro capítulo foi investigar como uma sequência didática, caracterizada pelo uso didático da argumentação, pode contribuir para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton, de estudantes de um curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública localizada na Bahia. Para tanto, reconhecemos que a argumentação é uma atividade cognitivo-discursiva que favorece a aprendizagem de conceitos científicos, que se desenvolve à medida que expressões, conceitos e

significados são mobilizados durante a construção de argumentos voltados para a resolução de problemas (BARBOSA; BATISTA, 2018; LEITÃO, 2011).

No ensino de ciências fundamentado pela argumentação o professor deve orientar as discussões a fim de favorecer ao estudante a capacidade de interagir socialmente e se desenvolver a partir de processos mediados pela linguagem (ARCHILA, 2015; OLIVEIRA, 2010). Diante disso, no quarto capítulo nosso objetivo foi investigar o processo argumentativo que culminou na construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton, por alunos da Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana, durante uma atividade em grupo mediada pelo professor. Dessa forma, almejamos contribuir no desenvolvimento de conhecimentos sobre como o professor pode promover uma interação discursiva com o propósito de orientar os alunos em um processo argumentativo direcionado para a construção de argumentos sobre ciências.

Depois do planejamento da proposta didática, fizemos sua implementação. Para sua avaliação formativa, que consiste em um ciclo de prototipagem, utilizamos os seguintes instrumentos de análise: (1) gravação em vídeo das interações entre os estudantes durante as atividades em pequenos grupos e entre grupos; (2) registro em diário de bordo das descrições e reflexões das atividades realizadas ao longo da proposta; (3) pré-teste sobre a Terceira Lei de Newton; e (4) argumentos escritos, desenvolvidos de maneira coletiva e individual.

A partir dos resultados obtidos com a aplicação da proposta didática, pretendemos gerar afirmações teóricas generalizáveis com relação ao ensino por argumentação em contextos específicos, que podem ser utilizados por outros professores no planejamento e aplicação de novas propostas de ensino com as devidas adaptações, considerando seus respectivos contextos⁷. Na concepção de Plomp, a contribuição da pesquisa na modalidade de *design* “[...] reside no desenvolvimento de trajetórias prototípicas de aprendizagem empiricamente fundamentadas que possam ser adotadas e adaptadas por outrem” (PLOMP, 2018, p. 41).

⁷ Na generalização situada, os resultados alcançados dentro de um contexto específico podem ser transferidos para outros, a partir do momento que exista correlação entre o contexto no qual a pesquisa foi desenvolvida e o ambiente de ensino que o professor trabalha (PAIVA, 2019).

Ao longo da introdução, apresentei os caminhos percorridos por mim até o desenvolvimento deste estudo, tanto no campo profissional como pessoal, realizei considerações gerais sobre a fundamentação teórica da pesquisa, apresentei o problema de pesquisa, os objetivos e a orientação metodológica geral, com uma descrição geral dos artigos que compõem a tese.

REFERÊNCIAS

ABI-EL-MONA, Issam; ABD-EL-KHALICK, Fouad. Argumentative Discourse in a High School Chemistry Classroom. **School Science and Mathematics**, v. 106, n. 8, p. 349-361, 2006.

ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. Revisiting school scientific argumentation from the perspective of the history and philosophy of science. *In*: MATTHEWS, Michael R. (ED.) **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, 2014. p. 1443–1472.

ARCHILA, Pablo Antonio. Using History and Philosophy of Science to Promote Students' Argumentation: A Teaching–Learning Sequence Based on the Discovery of Oxygen. **Science & Education**, v. 24, p. 1201–1226, 2015.

ARCHILA, Pablo Antonio; MOLINA, Jorge; MEJÍA, Anne-Marie Truscott de. Using formative assessment to promote argumentation in a university bilingual science course. **International Journal of Science Education**, 40, p. 1669–1695, 2018.

BAKER, Michael. Argumentative interactions and the social construction of knowledge. *In*: MIRZA, N. M.; PERRETCLERMONT, A.-N. (Ed.). **Argumentation and Education: Theoretical Foundations and Practices**. Dordrecht: Springer, 2009. p. 127-144.

BARBOSA, Jonei Cerqueira; OLIVEIRA, Andreia Maria Pereira. Por que a Pesquisa de Desenvolvimento na Educação Matemática?. **Perspectivas da Educação Matemática**, UFMS, v. 8, n. temático, p. 526-546. 2015.

BARBOSA, Roberto Gonçalves; BATISTA, Irinéa de Lourdes. Vygostsky: um referencial para analisar a aprendizagem e a criatividade no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 1, p. 49-67. Abril, 2018.

BERLAND, Leema K.; REISER, Brian J. Classroom Communities' Adaptations of the Practice of Scientific Argumentation. **Science Education**, v. 95, n. 2, p. 191-216, 2010.

BOAS, Jamille Vilas. **Professores de matemática e materiais curriculares educativos: participação e oportunidades de aprendizagens**. 109f. 2015. Tese (Doutorado em Ensino Filosofia e História das Ciências), Programa de Pós-

Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências), Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2015.

BOSS, Sergio Luiz Bragatto. Considerações sobre a produção e o uso de material histórico em sala de aula: dificuldades de leitura e entendimento de traduções de fontes primárias. *In: CAMARGO, Sérgio. (Org.). **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física***. 1 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. p. 161-174.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica Brasília: Ministério de Educação, 2000.

_____. **Base Nacional Curricular Comum: Educação é a Base**. Brasília: Ministério de Educação, 2020.

CATANI, Denice Barbara; BUENO, Belmira Amélia de Barros Oliveira; CHAMLIAN, Helena Coharik; SOUSA, Cynthia Pereira de. Histórias de vida e autobiografias na formação de professores e profissão docente (Brasil, 1985-2003). **Educação e Pesquisa (USP)**, v. 32, p. 385-410, 2006.

DAWSON, Vaile Maree; VENVILLE, Grady. Teaching strategies for developing students' argumentation skills about socioscientific issues in high school genetics. **Research in Science Education**, v. 40, n.2, p. 133-148, 2010.

DELIZOICOV, Demetrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências - Fundamentos e Métodos**. 3a. ed. São Paulo: Editora Cortez, v.1, 2009. v. 1, p. 115-154.

DELORY-MOMBERGER, Christine. **Biografia e Educação: Figuras do indivíduo projeto**. Tradução de Maria da Conceição Passeggi, João Gomes Neto, Luis Passeggi, São Paulo: Paulus; Natal, RN: EDUFRN, 2008.

DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul; OSBORNE, Jonathan. Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. **Science Education**. v. 84, n. 3, p. 287-312, 2000.

DUCK, Nell K; BECK, Sarah W. Education should consider alternative formats for the dissertation. **Educational Research**, Washington, v. 28, n. 3, p. 31-36, 1999.

DUSCHL, Richard A.; OSBORNE, Jonathan. Supporting and promoting argumentation in science education. **Studies in Science Education**, v. 38, n. 1, p. 39-72, 2002.

ERDURAN, Sibel; SIMON, Shirley; OSBORNE, Jonathan. Taping into Argumentation: Developments in the Application of Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. **Science Education**, v. 88, n. 6, p. 915-933, 2004.

ERDURAN, Sibel; OZDEM, Yasemin.; PARK, Jee-Young. Research trends on argumentation in science education: a journal content analysis from 1998-2014. **International Journal of STEM Education**, v. 2, n. 5, p. 1-12, 2015.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz.** 2009. 220f (Volume 1) Tese (Doutorado em Educação) Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FREIRE-JÚNIOR, Olival. A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências. *In: SILVA Filho, Waldomiro J. (org.). **Epistemologia e Ensino de Ciências.*** Salvador: Arcádia, 2002. p. 13-30.

HAMALOSMANOGLU, Mustafa; VARINLIOGLU, Serdar. The Effects of Argumentation Activities on Seventh Grade Students' Environmental Attitudes and Their Knowledge Level. **Science Education International**, v. 30, n. 3, p. 158-168, 2019.

HENDERSON, Bryan; MCNEILL, Katherine L.; GONZÁLEZ-HOWARD, Maria; CLOSE, Kevin; EVANS, Mat. Key challenges and future directions for educational research on scientific argumentation. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 55, n. 1, p. 5-18, 2018.

IBRAIM, Stefannie de Sá. **Análise das Influências do Ensino Explícito de Argumentação nos Conhecimentos Docentes sobre Argumentação de Professores de Química em Formação Inicial.** 253f. 2015. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

IBRAIM, Stefannie de Sá; JUSTI, Rosária. Teachers' knowledge in argumentation: contributions from a explicit teaching in an initial teacher education programme. **International Journal of Science Education**, v. 38, p. 1926-2025, 2016.

_____. Influências de um ensino explícito de argumentação no desenvolvimento dos conhecimentos docentes de licenciandos em Química. **Ciênc. Educ. Bauru**, v. 23, n. 4, p. 995-1015, 2017.

_____. Ações docentes favoráveis ao ensino envolvendo argumentação: estudo da prática de uma professora de química. **Investigações em Ensino de Ciências (ONLINE)**, v. 23, p. 311-330, 2018.

IBRAIM, Stefannie de Sá. **Caracterização de Ações Favoráveis ao Ensino de Ciências Envolvendo Argumentação.** 2018. Tese (Doutorado em Educação) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

JESUS, Rita de Cássia Dias Pereira de. **De como tornar-se o que se é: narrativas implicadas sobre a questão étnico-racial, a formação docente e as políticas para equidade.** 2007. 214 f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; RODRÍGUEZ, Anxela Bugallo; DUSCHL, Richar A. "Doing the Lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics. **Science Education**, v. 84, n. 6, p. 757-792, 2000.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; PUIG, Blanca. **Argumentacions y evaluación de explicaciones causales em ciências**: El caso de la inteligência. *Alambique*, 63, p. 11-18, 2010.

KNIPPING, Christine; REID, David A. **Argumentation Analysis for Early Career Researchers**. *Researchers in Mathematics Education*, p. 3-31, 2019.

KUHN, Deanna. Science As Argument: Implications For Teaching And Learning Scientific Thinking. **Science Education**, v. 3, n. 77, p. 319-337. 1993.

LEITÃO, Selma. O lugar da argumentação na construção do conhecimento em sala de aula. *In*: LEITÃO, Selma; DAMIANOVIC, Maria Cristina (Orgs.) **Argumentação na Escola: o conhecimento em construção**. Campinas, SP: Pontes Editores, 2011, cap. 1, p. 13-46.

LEMKE, Jay L. **Talking Science: language, learning and values**. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 2000.

LIMA, Cintia Maria Carneiro Franco; SILVA, JOSÉ LUIS de Paula Barros. Contribuições do Desenvolvimento Histórico-Cultural dos Conceitos de Ácido e de Base para o Ensino de Química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 20, p. 157-191, 2020.

MATTHEWS, Michael R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.12, n.3, p.164-214, dez. 1995.

_____. **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. New York - London: Springer, v. I, II e III, 2014.

MCNEILL, Kathrine L.;KNIGHT, Amanda M. Teachers' pedagogical content knowledge of scientific argumentation: The impact of professional development on k-12 teachers. **Science Education**, v. 97, n. 6, p. 936 – 972, 2013.

MCNEILL, Katherine L.; GONZÁLEZ-HOWARD, María; KATSH-SINGER, Rebecca; LOPER, Suzanna. Moving beyond pseudo argumentation: Teachers' enactments of an educative science curriculum focused on argumentation. **Science Education**, v. 101, n. 3, p. 426–457, 2017.

MENDONÇA, Paula Cristina; JUSTI, Rosária. **Ensino-Aprendizagem de Ciências e Argumentação: Discussões e Questões Atuais**. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 1, 2013.

_____. An instrument for analysing arguments produced in modeling-based chemistry lessons. **Journal of Research in Science Teaching (Print)**, v. 51, p. 192-218, 2014.

MORTIMER, Eduardo Fleury. Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. **International Journal of Science Education**, v. 1, p. 67-82, 1998.

MURPHY, P. Karen; GREENE, Jeffrey A.; ALLEN, E, BASZCZEWSKI, Sara; SWEARINGEN, Amanda; WEI, Liwei; BUTLER, Ana M. Fostering high school students' conceptual understanding and argumentation performance in science through quality talk discussions. **Science Education**, v. 102, p. 1239–1264, 2018.

NAJAMI, Naim; HUGERAT, Muhamad; KABYA, Fattma; HOFSTEIN, Avi. The Laboratory as a Vehicle for Enhancing Argumentation Among Pre-Service Science Teachers. **Science & Education**, v. 29, p. 377–393, 2020.

OLIVEIRA, Marta Khol. **VYGOTSKY: Aprendizado e desenvolvimento. Um processo sócio-histórico.** 5° ed. São Paulo: Scipione, 2010.

OSBORNE, Jonathan; ERDURAN, Sibel; SIMON, Shirley. Enhancing the Quality of Argumentation in School Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 41, n. 10, p. 994–1020, 2004.

OSBORNE, Jonathan. Arguing to learn in science: The role of collaborative and critical discourse. **Science**, v. 328, p. 463–466, 2010.

OZDEM, Yasemin; ERTEPINAR, Hamide; CAKIROGLU, Jale; ERDURAN, Sibel. The nature of pre-service science teachers' argumentation in inquiry-oriented laboratory context. **International Journal of Science Education**, London, v. 35, n. 15, p. 2559-2586, 2013.

PAIVA, Ayane de Souza. **Princípios de design para o ensino de biologia celular: pensamento crítico e ação sociopolítica inspirados no caso de Henrietta Lacks.** 392f. 2019. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências), Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2019.

PEDUZZI; Luiz Orlando de Quadro. Sobre a utilização didática da História da Ciência. *In: PIETROCOLA, Mauricio (Org.) Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora.* Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PENHA, Sidnei Percia da. **Atividades Sociocientíficas em sala de aula de física: as argumentações dos estudantes.** 485f. 2012. Tese (Doutorado em Educação), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

PENHA, Sidnei Percia da; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Proposição de uma Ferramenta Analítica para avaliar a Qualidade da Argumentação em Questões Sociocientíficas. *In: X ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 2015, Águas de Lindóia. Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, 2015.

PERELMAN, Chaim. **O império retórico: Retórica e argumentação.** Porto: Edições ASA, 1993.

PINO, Angel L. B. Processos de significação e constituição do sujeito. **Temas em Psicologia.** v.1, n. 1, p. 17-24, 1993.

PIMENTA, Selma Garrido; LIMA, Maria Socorro Lucena. **Estágio e Docência**. São Paulo: Cortez, 2012.

PLOMP, Tjeerd. Educational design research: An introduction. *In*: PLOMP, Tjeerd; NIEVEEN, Nienke. (Eds.). **An introduction to educational design research**. Enschede: SLO – Netherlands Institute for Curriculum Development. 2009. p. 9-35.

_____. Pesquisa-aplicação em educação: uma introdução. *In*: PLOMP, Tjeerd. NIEVEEN, Nienke. **Pesquisa-aplicação em educação: uma introdução**. Tradução: MATTA, Alfredo Eurico Rodrigues. NATO, Emanuel R. S. Editora Artesanato Educacional, ABED, 1ª Edição, São Paulo, 2018. 362p.

PORTO, Klayton Santana. **A argumentação e o entendimento de estudantes surdos e ouvintes sobre cinemática**. 267f. 2018. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2018.

RUIZ-ORTEGA, Francisco Javier; ALZATE, Oscar Eugenio Tamayo; BARGALLÓ, Conxita Márquez. La argumentación en clase de ciencias, un modelo para su enseñanza. **Educación e Pesquisa**, v. 41, n. 3, p. 629-646, 2015.

RUIZ-ORTEGA, Francisco Javier; MÁRQUEZ, Conxita; BADILLO, Edelmira; RODAS RODRÍGUEZ, José Mauricio. Desarrollo de la mirada profesional sobre la argumentación científica en el aula de secundaria. **Revista Complutense de Educación**, v. 29, n. 2, p. 559-576, 2018.

RUPPENTHAL, Raquel; SCHETINGER, Maria Rosa Chitolina. A argumentação e a capacidade de resolver problemas em estudantes do ensino fundamental. **ALEXANDRIA (UFSC)**, v. 10, p. 35-52, 2017.

SÁ, Luciana Passos; QUEIROZ, Salete Linhares. Promovendo a Argumentação no Ensino Superior de Química. **Quim. Nova**, v. 30, n. 8, 2035-2042. 2007.

SANTOS, Josebel Maia dos. **O ensino da gravitação universal de Newton através da História da Ciência e da argumentação**: desenvolvimento e análise de uma sequência didática. 239f. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2017.

SARAMAGO, José. **O conto da ilha desconhecida**. S.I.: Editora Schwarcz, LTDA, Lisboa, 1998.

SILVA, Eider de Souza. **Uma análise das propostas didáticas para o ensino de Física orientadas por abordagens histórico-filosóficas**. 142f. 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). - Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2014.

SILVA, Eider de Souza; TEIXEIRA, Elder Sales; PENIDO, Maria Cristina Martins. Análise de propostas didáticas de física orientadas por abordagens históricas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 766-804, dez. 2018.

SIMON, Shirley; ERDURAN, Sibel; OSBORNE, Jonathan. Learning To Teach Argumentation: Research And Development In The Science Classroom. **International Journal of Science Education**, v. 28, p. 235-260, 2006.

SOUZA, Elizeu Clementino de. **Memória e formação de professores**. Edição online. (Auto)biografia, histórias de vida e práticas de formação. Salvador. EDUFBA, 2007.

SUTTON, Stephen. Stage theories of health behaviour. *In*: Conner, Mark; NORMAN, Paul (Org.). **Predicting Health Behaviour: Research and Practice with Social Cognition Models**, 2nd edn, 2005. p. 223– 275.

TEIXEIRA, Elder Sales. **Argumentação e abordagem contextual no ensino de física**. 148f. 2010. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2010a.

TEIXEIRA, Elder Sales; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro; FREIRE-JÚNIOR, Olival. Os Caminhos de Newton para a Gravitação Universal: Uma Revisão do Debate Historiográfico entre Cohen e Westfall. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 215-254, 2010b.

TEIXEIRA, Elder Sales; NETO, Clímério. Paulo da Silva Neto; FREIRE JR., Olival; GRECA, Ileana Maria. A Construção de uma Argumentação sobre a Síntese Newtoniana a partir de Atividades em Grupos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 61-95, 2010c.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria; FREIRE JR, Olival. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. **Science & Education**, v. 21, n. 6, p. 771–796, 2012a.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria.; FREIRE JR., Olival. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física. *In*: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; HIDALGO, J. M. (Orgs.) **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal, Editora da UFRN, 2012b, cap. 1, p. 9-40.

_____. La Enseñanza de la Gravitación Universal de Newton Orientada por la Historia y la Filosofía de la Ciencia: Una Propuesta Didáctica con un Enfoque en la Argumentación. **ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**, v. 33, n. 1, p. 205-223, 2015.

TOULMIN, Stephen. **Os Usos do Argumento**. Trad. Reinaldo Guarany. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

VIEIRA, Rodrigo Drumond; NASCIMENTO, Silvania Souza do. A argumentação no discurso de um professor e seus estudantes sobre um tópico de mecânica newtoniana. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 174-193, 2007.

VYGOTSKY, Lev Semionovitch. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001. p. 486.

ZEMBAL-SAUL, Carla; MUNFORD, Danusa; CRAWFORD, Barbara; FRIEDRICHSEN, Patricia; LAND, Susan. Scaffolding Preservice Science Teachers' Evidence-Based Arguments During an Investigation of Natural Selection. **Research in Science Education**, v. 32, p. 437–463, 2002.

ZEMPLÉN, Gabor A. History of science and argumentation in science education: joining forces?. *In*: KOKKOTAS, P. V.; MALAMITSA, K. S. e RIKAKI, A. A. (Eds.). **Adapting historical knowledge production to the classroom**. Rotterdam: Sense Publishers, 2011, p. 12.

ZOHAR, Anat; NEMET, Flora. Fostering Student's Knowledge and Argumentation Skills Through Dilemmas in Human Genetics. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 1, p. 35-62, 2002.

**CAPÍTULO 1 - O PAPEL DA TERCEIRA LEI NO DESENVOLVIMENTO DO
CONCEITO DE INTERAÇÃO MÚTUA PRESENTE NA TEORIA DA GRAVITAÇÃO
UNIVERSAL DE NEWTON**

O PAPEL DA TERCEIRA LEI NO DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO DE INTERAÇÃO MÚTUA PRESENTE NA TEORIA DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL DE NEWTON

Resumo: Este artigo tem como objetivo apresentar uma reconstrução histórica dos argumentos originais utilizados por Newton no desenvolvimento da Terceira Lei e do conceito de interação mútua presente na teoria da Gravitação Universal, com vistas a ser utilizado no Ensino de Física em cursos de graduação. Em conformidade com este objetivo, foram evidenciados, a partir da análise das leis do movimento, dos escólios, definições, corolários, regras, proposições, lemas, entre outros aspectos, presentes ao longo do *Principia*, os argumentos originais utilizados por Newton para explicar o conceito de interação gravitacional entre corpos a partir de uma única ação atuando simultaneamente entre eles. Por último, discutimos possíveis contribuições dessa reconstrução para o Ensino de Física.

Palavras-chave: Terceira Lei de Newton; Interação mútua; Gravitação Universal; História das Ciências; Ensino de Física.

1. INTRODUÇÃO

Uma das obras mais importantes de Isaac Newton (1643-1727) é o *Principia*, ou Princípios Matemáticos da Filosofia Natural, que em latim se escreve *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. O *Principia* é uma obra de três volumes publicada pela primeira vez em 1687¹. No primeiro livro, Newton aborda a ideia de força e movimento em espaços livres de qualquer tipo de resistência, de tal maneira que procura aplicar as leis dos movimentos² para massas pontuais, que orbitem em centros de atração. Consequentemente, o Livro I foi fundamental para a

¹ No Livro I, Newton apresenta definições, axiomas e leis gerais do movimento dos corpos sujeitos à ação de forças centrais, enquanto que no Livro II, discute o movimento dos corpos em meios resistivos, para no Livro III – Sistema de Mundo - aplicar os princípios matemáticos desenvolvidos nos livros I e II no mundo físico. A obra foi revisada em 1713, segunda edição, enquanto que em 1726/1727 foi lançado sua terceira edição. Na revisão dos *Principia*, publicada em 1713, reimpressa e corrigida em 1714, é apresentada uma teoria mais completa da Lua. Em sua terceira edição, publicada em 1726, especificamente no Livro II, Newton incluiu explicações sobre a resistência dos fluidos, enquanto que no Livro III, apresenta uma explicação mais pormenorizada sobre a gravitação, especificamente, sobre a órbita lunar e as novas observações de Júpiter e dos cometas.

² As leis de Newton são válidas para um sistema de referência inercial. Referencial inercial é aquele no qual um corpo sobre o qual não há força líquida atuando (o corpo pode estar sob ação de forças, mas a resultante, isto é, a força líquida é nula), está parado ou se movimentando em linha reta com velocidade constante. As estrelas distantes são, por aproximação, um referencial inercial. A Terra, que possui movimentos de rotação e translação com aceleração pequena, quando em comparação com o valor da aceleração da gravidade, pode ser considerada, em algumas situações, como em atividades realizadas no laboratório, um referencial inercial, junto com qualquer outro referencial ligado a ela, tendo em vista que qualquer referencial que se move com velocidade constante em relação a um referencial inercial também é um referencial inercial. Esse tipo de aproximação não se aplica, por exemplo, ao movimento de um pêndulo de Foucault, ou de projéteis que se movem com grandes velocidades. Do exposto, ao longo do texto considera-se, para critério de análise das grandezas físicas envolvidas nos fenômenos abordados, a adoção de um referencial inercial.

consolidação de uma mecânica capaz de explicar fenômenos terrestres e celestes a partir das mesmas leis.

Para além de todas as discussões presentes ao longo do *Principia*, o objetivo deste artigo é apresentar uma reconstrução histórica dos argumentos originais utilizados por Newton no desenvolvimento da Terceira Lei e do conceito de interação mútua presente na teoria da Gravitação Universal, com vistas a ser utilizado no Ensino de Física em cursos de graduação. Essa reconstrução se dará a partir da análise pormenorizada das leis do movimento, dos escólios, definições, corolários, regras, proposições, lemas, entre outros aspectos, presentes ao longo dos *Principia*³, ao passo que procuramos identificar e analisar os argumentos newtonianos para fundamentar o conceito de interação presente na Gravitação Universal. Paralelamente, as contribuições de historiadores das ciências, com destaque para as de Richard S. Westfall (1924-1996) e I. Bernard Cohen (1914-2003), especialistas em Newton, também serão apresentadas ao longo da reconstrução histórica⁴, a fim de melhor elucidar os argumentos newtonianos sobre o referido tema e evitar interpretações equivocadas a respeito destes.

Os passos da reconstrução histórica desenvolvida neste artigo são incertos, tendo em vista, por exemplo, que a Terceira Lei de Newton não aparece no tratado *De Motu*⁵, revisado pouco antes da publicação do *Principia*. No tratado em questão, se encontra a gênese da reconstrução newtoniana da dinâmica, considerando-se que o tratado representa as mudanças de pensamento que levam Newton a explicar

³ O uso de fontes primárias, por exemplo, deve ser acompanhado por estratégias voltadas para facilitar a leitura e o entendimento dos textos (BOSS; 2014; SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018). Diante disso, neste artigo realizamos uma análise crítica de fontes primárias, a partir da inserção de comentários, figuras e demonstrações, a partir do uso de nomenclaturas modernas, dos trechos citados na reconstrução histórica (FORATO, 2009; SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018). Segundo Boss (2014), inserir comentários e figuras melhora a compreensão das fontes primárias, pois ilustra os aspectos abordados nos textos, tornando-os materiais “profícuos para a educação científica” (BOSS, 2012, p. 171).

⁴ Os cuidados na seleção das referências que formam os textos, apesar de não ser garantia, pode contribuir para evitar a propagação de uma pseudo-história (FORATO, 2009; SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018). Nessa situação, devem ser utilizadas fontes de pesquisadores especializadas na área (BOSS, 2014; FORATO, 2009; MARTINS, 2001; SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018).

⁵ *De motu corporum em gyrum* ("Sobre o movimento de corpos em órbita") foi um manuscrito redigido por Isaac Newton enviado a Edmond Halley no final de 1684, a partir das alegações deste sobre qual seria a curva descrita pelos planetas, supondo-se que a força que mantém os planetas em suas órbitas varia com o inverso do quadrado da distância. De resto, para uma análise pormenorizada sobre a relevância do tratado *De Motu* (de 1684) para o desenvolvimento da dinâmica newtoniana, ver Teixeira (2010).

a dinâmica orbital, tese central de sua teoria da Gravitação Universal⁶ (WESTFALL, 1971; 1995). Independente dos aspectos que influenciaram o desenvolvimento da Terceira Lei, é no Escólio das leis dos movimentos, descrito inicialmente na primeira versão do *Principia* em 1687, que Newton apresenta os resultados experimentais com pêndulos em colisão. Por consequência, explica que as forças que agem entre estes corpos durante um choque, são iguais em magnitude, direção e opostas em sentidos. Decerto, ao correlacionar teoria e experiência, durante seus estudos sobre choques, Newton foi capaz de provar a Terceira Lei⁷.

Neste artigo foram adotados alguns critérios marcadores que subsidiam os cuidados e riscos assumidos para o desenvolvimento de uma reconstrução histórica com finalidades didáticas sobre a Terceira Lei e o conceito de interação mútua presente na Gravitação Universal de Newton, a saber: (1) Uso de nomenclaturas modernas; (2) Utilização da História da Ciência de maneira integrada; (3) Inserção de comentários, figuras e demonstrações; e (4) Simplificações históricas sem incorrer a um excesso de omissões e sem comprometer os objetivos educacionais aos quais o texto de propõe. Dessa maneira, buscamos harmonizar as exigências da didática das ciências com as prescrições teóricas dos campos históricos e epistemológicos, a fim de não incorrer em uma pseudo-história (FORATO, 2009; SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018; TEIXEIRA et al., 2010).

No que concerne a delimitação do tema, o recorte adotado destaca o conceito de interação mútua presente na Gravitação Universal de Newton. Logo, não é objetivo do referido trabalho, tratar de todos os estágios que envolvem o desenvolvimento da mecânica newtoniana⁸. Perante o exposto, o artigo está dividido em quatro seções: (1) Terceira Lei de Newton; (2) Gravitação Universal e o conceito

⁶ Apesar da Terceira Lei não aparecer explicitamente entre as leis ou hipóteses do tratado, Cohen (1999) reconhece que Newton estava consciente da Terceira Lei muito antes de escrever o *De Motu*.

⁷ O Escólio mostra como as leis do movimento de Newton, em especial a Terceira Lei, estão relacionadas com o estudo newtoniano sobre choques. Essa ideia pode ser corroborada a partir das alegações de Westfall (2005), que defende que o princípio da ação e reação, presente na Terceira Lei, é uma extensão do estudo dinâmico da mudança de movimento causado pelo choque dos corpos. Além do mais, o próprio Newton (2005), afirma que “a Terceira Lei, tanto quanto ela diz respeito a percussões e reflexões, está provada por uma teoria que concorda exatamente com a experiência”. (NEWTON, 2005, p. 471).

⁸ Quando necessário, serão descritos, com o aprofundamento devido, correlacionado aos objetivos do texto, outros fatores relevantes para o desenvolvimento do conceito de interação mútua, empreendido por Newton, bem como a contribuição de outros estudiosos.

de interação mútua; (3) Gravitação Universal e o estilo de Newton; e (4) Considerações finais e implicações para o Ensino de Física.

Partimos do pressuposto que a promoção dessa reconstrução histórica favorece um debate que pode auxiliar na compreensão do método utilizado por Newton para estabelecer a Lei da Gravitação Universal, assim como na aprendizagem do conceito de interação entre corpos. Em particular, destaca-se o papel do debate para o Ensino de Física, já que as explicações sobre a Terceira Lei de Newton, presentes em alguns livros e textos, acabam descrevendo a ação e a reação como duas operações independentes, isto é, descrevem a reação como consequência da ação, e não como uma única interação que atua simultaneamente em dois corpos (TEIXEIRA et al., 2010). Ademais, a Terceira Lei é utilizada para explicar de maneira superficial o conceito de interação mútua presente na Gravitação Universal, sem uma discussão detalhada sobre o método usado por Newton para dar significado à interação mútua, como uma força proporcional à massa de ambos os corpos (TEIXEIRA et al., 2010). Em conformidade com Cushing (1982), reconhecemos que apresentar e discutir os argumentos originais de Newton para explicar a interação mútua entre corpos favorece uma compreensão conceitual adequada da Gravitação Universal newtoniana.

2. TERCEIRA LEI DE NEWTON

A ciência do século XVII, firmada essencialmente no cartesianismo, no neotomismo e com forte tendência no mecanicismo, alçou o problema das colisões a um patamar de destaque (PORTO, 2020). Nesse contexto, o estudo da conservação (ou não) da quantidade de movimento de um sistema de corpos⁹, incentivou os trabalhos de Leibniz, Christopher Wren, Wallis, Huygens, Newton, entre outros, sobre choques mecânicos (COHEN, 1993; PEDUZZI, 2015; WESTFALL, 2001, 2005). Newton, particularmente, se dedicou à realização de experimentos sobre a colisão frontal de corpos a partir do uso do pêndulo.

Após descrever a relevância de determinar e comparar o movimento dos corpos antes e após colidirem, de tal maneira que pudesse determinar os efeitos dos choques sobre os corpos, Newton, afirma que:

⁹ Em particular, a seguinte questão: O que se conserva em uma colisão? (PEDUZZI, 2015).

Ao fazer um teste desta forma com pêndulos de dez pés¹⁰, usando corpos desiguais, bem como iguais, e fazendo os corpos coincidirem juntos depois de distâncias muito grandes, digamos de oito ou doze ou dezesseis pés, eu sempre encontrei - dentro de um erro de menos de três polegadas¹¹ nas medidas - que quando os corpos se encontravam diretamente, mudanças iguais em direção a partes contrárias eram produzidas em seus movimentos¹², e por consequência, que a ação e reação eram iguais (NEWTON, 1999, p. 426, tradução nossa).

Essa passagem pode ser reescrita da seguinte forma:

Ao fazer experimentos com pêndulos de cerca de 3m de comprimento e com massas ora iguais, ora diferentes e fazendo as massas colidirem após descerem de várias alturas (ora de 2,4m, ora de 3,6m, ora de 4,8m), em todos os casos encontrei, com erro de menos de 0,0762m, o seguinte resultado: quando as massas colidiam frontalmente eram produzidas mudanças iguais em suas quantidades de movimento (momento linear) e em sentidos contrários (ou seja, o momento linear total, antes e depois da colisão, se conservava) e, por consequência, a ação era igual à reação.

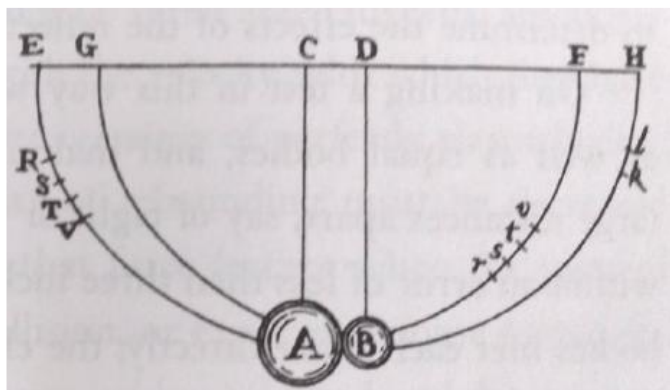
Os experimentos com pêndulos foram o método utilizado por Newton para comparar a quantidade de movimento dos corpos antes e depois de colidirem. Ao apresentar os resultados dos experimentos, Newton descreve as dificuldades de executar o experimento, como, abandonar os corpos A e B, para que colidissem no lugar mais baixo, AB, bem como determinar lugares de ascensão destes após o choque, s e k (Figura 1). Na sequência, descreve alguns possíveis erros, que ocorrem “devido à densidade desigual das partes dos próprios corpos pendulares e da irregularidade na textura derivada de outras causas” (NEWTON, 1999, p. 426).

¹⁰ 1 pé = 0,3048 metros (m) = 30,48 centímetros (cm).

¹¹ 1 polegada (in) = 0,0254 m = 2,54 cm.

¹² O que Newton chama de movimento ao longo do *Principia*, é interpretado atualmente como quantidade de movimento ou momento linear.

Figura 1 - Experimentos com pêndulos.



Fonte: Newton (1999, p. 425).

Ao analisar os efeitos dos choques, concluiu que:

Finalmente o corpo A terá que ser multiplicado (por assim dizer) pela corda do arco TA, que representa sua velocidade, a fim de obter seu movimento no lugar A imediatamente antes da reflexão e então pela corda do arco tA, para que possamos ter seu movimento no lugar imediatamente após a reflexão. E assim o corpo B terá que ser multiplicado pela corda do arco BI, a fim de obter seu movimento imediatamente após a reflexão (NEWTON, 1999, p. 425-426, tradução nossa).

A passagem acima pode ser reescrita da seguinte forma:

A massa do corpo A, m_A , multiplicada pela sua velocidade, representada pelo arco de corda TA, para que tenhamos a quantidade de movimento do corpo A, imediatamente antes da colisão; do mesmo modo devemos multiplicar a massa do corpo A pela sua velocidade, representada pelo arco de corda tA, para que possamos ter a quantidade de movimento do corpo A, imediatamente após o choque. E assim devemos multiplicar a massa do corpo B, m_B , pela velocidade do corpo B, representado pelo arco de corda BI, para determinar a quantidade de movimento deste imediatamente após o choque.

Deve-se entender a descrição acima da seguinte forma: O movimento do corpo A, ou quantidade de movimento, \vec{p}_A , imediatamente antes da colisão, deve ser determinado a partir do produto da massa¹³ de A, m_A , pela corda do arco TA¹⁴, ou seja, pela velocidade do corpo A, \vec{v}_A . Portanto,

¹³ Assume-se o conceito de massa inercial enquanto propriedade de um corpo, que especifica o quanto ele pode resistir a uma tentativa de mudança de estado de movimento em resposta à atuação de uma força externa, que difere do conceito de massa gravitacional. O conceito de massa inercial adotado ao longo do texto procura refutar a definição cíclica presente no *Principia*, que relaciona

$$\vec{p}_A = m_A \cdot \vec{v}_A \quad (1)$$

Aplicando o mesmo raciocínio ao corpo B, temos que¹⁵:

$$\vec{p}_B = m_B \cdot \vec{v}_B \quad (2)$$

Comparar a quantidade de movimento dos corpos A e B, antes e depois da colisão, a fim de analisar a influência do choque em seus movimentos, pode ser realizada a partir de uma série de experiências realizadas por Newton com pêndulos, por exemplo, a saber:

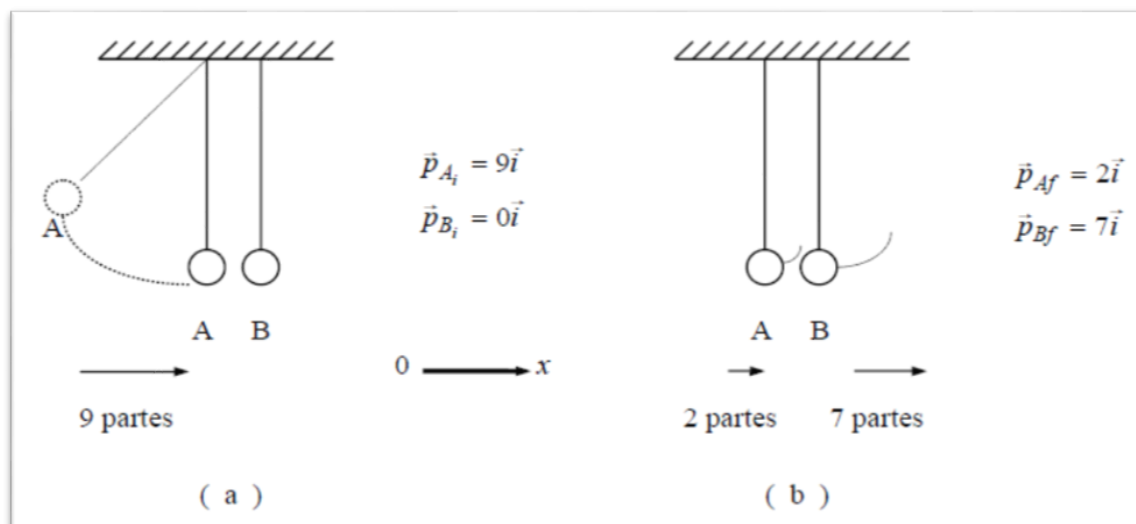
Experiência 1: “Por exemplo, se o corpo A colidiu com o corpo B, este estava em repouso, com nove partes de movimento e, perdendo sete partes, procedesse após da reflexão com duas, o corpo B fosse levado para trás com aquelas sete partes” (NEWTON, 1999, p. 426, tradução nossa).

massa com a densidade e o volume, sem denotar como ambas são definidas de maneiras independentes.

¹⁴ A partir de uma verificação indireta, Galileu afirmou que a distância percorrida por um objeto, inicialmente em repouso, caindo sobre um plano inclinado, ou em queda livre na vertical, é proporcional ao quadrado do tempo de queda (GALILEU, 1988). Em outros termos, Galileu concluiu que o quadrado do tempo de queda do corpo é diretamente proporcional à distância percorrida pelo corpo ao longo de seu movimento, seja este descrito ao longo de um plano inclinado ou em queda livre na vertical, pois esses movimentos possuem a mesma natureza, quer dizer, estão submetidos à mesma aceleração, a saber a aceleração da gravidade. Do exposto, Galileu alega que a velocidade de um mesmo móvel que desce por diferentes planos inclinados, com diferentes graus de inclinação, ou em um movimento vertical em queda livre, serão iguais se suas alturas forem iguais, pois a velocidade independe da inclinação da trajetória descrita pelo corpo, isto é, depende apenas da altura entre as posições final e inicial do corpo. Portanto, o arco de corda TA representa a velocidade do corpo A, a partir da associação do arco com a corda, isto é, com certa aproximação o arco representa a trajetória descrita no movimento ao longo do plano inclinado, tendo em vista que Galileu demonstrou que, em um mesmo intervalo de tempo, os arcos são proporcionais às velocidades. Em síntese, de acordo com Galileu, os arcos (S) são proporcionais às velocidades (v) em um mesmo intervalo de tempo (T), assim a velocidade pode ser representada pelo arco S ($S \propto v$).

¹⁵ Na definição II, Livro I, Newton afirma que, “quantidade de movimento é uma medida de movimento que surge da velocidade e da quantidade de matéria conjuntamente” (NEWTON, 1999, p. 404, tradução nossa). O termo conjuntamente, que compõe o vocabulário newtoniano, significa o produto de uma grandeza pela outra.

Figura 2 - Colisão frontal entre o corpo A, inicialmente em movimento, e o corpo B, inicialmente em repouso. Em (a) temos a situação antes do choque, em (b) a situação, imediatamente, depois do choque.



Fonte: Peduzzi (2010, p. 68).

Na Figura 2, partimos do princípio de que o sistema está isolado no momento do choque¹⁶. Assim, apenas os corpos A e B interagem, de tal maneira que:

- As únicas forças existentes, correspondem à força que A exerce em B, \vec{F}_{AB} , e que B exerce em A, \vec{F}_{BA} ¹⁷;

- Antes da colisão, a força resultante sobre o corpo B é nula, pois não existe interação até o instante do choque;

- Antes da colisão, a força resultante sobre o corpo A é a força centrípeta;

- Imediatamente antes da colisão, e imediatamente após a colisão, a força resultante externa sobre o sistema é nula na direção x ¹⁸, caracterizada pelo vetor unitário \hat{i} ;

- Assim, as velocidades dos corpos antes e depois da colisão são constantes, tendo em vista que não há aceleração e, conseqüentemente, a força resultante é nula.

¹⁶ Em um sistema físico isolado, os corpos que o compõem não sofrem ação de nenhuma força cuja origem seja exterior ao próprio sistema. Neste artigo, para critério de análise, estamos desprezando os efeitos de forças de qualquer natureza, que estejam atuando fora do sistema.

¹⁷ Na natureza é difícil realizar uma experiência como essa, tendo em vista, que não se pode assegurar que os efeitos de outras forças sobre os dois corpos sejam desprezíveis.

¹⁸ A análise realizada por Newton se desenvolve nesta direção.

Ademais, as forças de interação entre os corpos A e B, são forças de contato que agem apenas durante um pequeno intervalo de tempo, Δt , da colisão. Assim, o tempo de contato, durante o impacto, é infinitamente curto e imperceptível, chamado por “instante da colisão”.

Por último, a critério de análise, consideremos que as grandezas \vec{p}_{A_i} e \vec{p}_{B_i} , representam as quantidades de movimento de A e B, imediatamente, antes do choque. Enquanto \vec{p}_{A_f} e \vec{p}_{B_f} , representam a quantidade de movimento de A e B, imediatamente, após o choque. Assim, a partir da análise da experiência 1, temos que:

$$\Delta\vec{p}_A = \vec{p}_{A_f} - \vec{p}_{A_i} = 2\vec{i} - 9\vec{i} = -7\vec{i}$$

$$\Delta\vec{p}_B = \vec{p}_{B_f} - \vec{p}_{B_i} = 7\vec{i} - 0\vec{i} = 7\vec{i}$$

Do exposto, é possível afirmar que:

$$\Delta\vec{p}_A = -\Delta\vec{p}_B \quad (3)$$

Se o choque acontecer de outra maneira, por exemplo, com um choque frontal entre duas massas pendulares A e B, a quantidade de movimento antes e depois do choque são iguais e opostas (Relação 3).

Para Newton:

Como resultado do encontro e da colisão de corpos, a quantidade de movimento - determinada pela ação dos movimentos em alguma direção e subtraindo os movimentos em sentidos opostos - nunca foi alterada (NEWTON, 1999, p. 426, tradução nossa).

Assim, em uma linguagem mais moderna, a afirmativa de Newton pode ser entendida de forma que a quantidade de movimento dos corpos antes e depois da colisão, na direção x, se conserva.

Mesmo não analisando todas as experiências apresentadas por Newton¹⁹, podemos concluir que o momento total de um sistema isolado, formado por duas ou mais massas pendulares, se conserva. Dessa forma, o choque entre massas pendulares, analisado por Newton, está de acordo com o Princípio de Conservação

¹⁹ O resultado descrito para a experiência 1 se aplica às demais experiências, 2 e 3. Para uma análise detalhada de todas as experiências com pêndulos apresentadas por Newton no Escólio das Leis do Movimento, Livro I, ver Peduzzi (2010).

do Momento: “Sempre que duas ou mais partículas em um sistema isolado interagem, o momento total do sistema permanece constante” (SERWAY, 2017, p. 248). Assim, a validade da expressão (3) é mantida para qualquer sistema isolado no qual se possa desprezar os efeitos de forças externas, como o atrito.

No decorrer da análise, Newton conclui que os experimentos não dependem da rigidez dos corpos envolvidos, devem ser relacionados a choques em corpos moles ou perfeitamente rígidos²⁰. Isso significa que o experimento com pêndulos funciona bem na explicação de choques de corpos moles e para corpos duros. Como resultado, “a terceira lei, tanto quanto diz respeito a impactos e reflexões, está comprovada por essa teoria, que concorda exatamente com os experimentos” (NEWTON, 1999, p. 427). Para mais, a validade do Princípio de Conservação do Momento independe da natureza das forças internas envolvidas, podendo essas serem conservativas ou não. Esse princípio, também, se generaliza para sistemas com mais de dois corpos, em situações mais gerais²¹.

A expressão (3) equivale a escrever

$$\begin{aligned}\Delta\vec{p}_A &= \vec{p}_{A_f} - \vec{p}_{A_i} = -(\vec{p}_{B_f} - \vec{p}_{B_i}) = -\Delta\vec{p}_B \\ \Delta\vec{p}_A &= -\Delta\vec{p}_B.\end{aligned}$$

As variações de momento ocorrem durante o intervalo de tempo de colisão, Δt . Logo, dividindo-se ambos os membros pelo tempo de colisão, temos que:

$$\frac{\Delta\vec{p}_A}{\Delta t} = -\frac{\Delta\vec{p}_B}{\Delta t} \quad (4)$$

Para um tempo de contato infinitamente curto, $\Delta t \rightarrow 0$, podemos afirmar que

$$\frac{d\vec{p}_A}{dt} = -\frac{d\vec{p}_B}{dt} \quad (5)$$

que equivale a,

$$\frac{d}{dt} (\vec{p}_A + \vec{p}_B) = \vec{0} \quad (6)$$

A partir de 5 e 6 é possível depreender que a variação com o tempo da quantidade de movimento, das massas A e B, antes e depois da colisão,

²⁰ Perfeitamente elástico, que, porém, não pode ser encontrado na natureza (NEWTON, 1999, 2005).

²¹ Para uma análise mais pormenorizada do Princípio de Conservação do Momento, em sistemas de vários corpos, ver Nussenzveig (2002, p. 152).

respectivamente, são iguais e opostas. Em outras palavras, a variação da quantidade de movimento do corpo A é igual e oposta à variação da quantidade de movimento do corpo B.

De acordo com a segunda Lei de Newton, temos que a variação do momento é proporcional à força impressa e varia na mesma direção desta²², ou seja,

$$d \frac{\vec{p}}{dt} = \vec{F} \quad (7)$$

Em vista disso, de acordo com as expressões 5, 6 e 7, podemos inferir que $\frac{d\vec{p}_A}{dt}$ representa a força que o corpo B exerce sobre o corpo A, \vec{F}_{BA} , durante o instante da colisão. De maneira semelhante, $\frac{d\vec{p}_B}{dt}$, representa a força que o corpo A exerce sobre o corpo B, \vec{F}_{AB} , no mesmo instante. Portanto,

$$\vec{F}_{AB} = - \vec{F}_{BA} \quad (8)$$

, ou seja, como as variações das quantidades de movimento dos corpos A e B são iguais e opostas, 5 e 6, é legítimo concluir que as forças que agem entre esses corpos durante o choque sejam iguais e opostas, (7 e 8, respectivamente). Em síntese, os experimentos com pêndulos, utilizados por Newton para demonstrar a Terceira Lei, denotam que a variação da quantidade de movimento de uma massa pendular A, que colide com outra massa B, é determinada pela ação de uma força exercida por B sobre A, assim como uma força exercida por A sobre B.

Da igualdade (8) também é possível concluir que as forças \vec{F}_{AB} e \vec{F}_{BA} , envolvidas no choque entre os corpos A e B, são iguais ($|\vec{F}_{AB}| = |\vec{F}_{BA}|$), possuem a mesma direção e sentidos opostos. Em outros termos, para o exemplo da experiência 1, temos que entre a colisão dos corpos A e B, a força que um exerce sobre o outro possui a mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos. Portanto, Newton assegura, assim como analisado por Cohen (1993) e Westfall (2001, 2005), que a Terceira Lei é resultado dos estudos sobre choques pendulares.

Como resultado destes experimentos, Newton definiu que: Lei III - Para qualquer ação há sempre uma reação oposta e igual; em outras palavras, as ações

²² No sistema de referência ao qual a segunda lei de Newton é válida, a massa inercial, m , de um corpo é uma característica particular, isto é, se mantém constante.

de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e sempre opostas em sentido (NEWTON, 1999, p. 417, tradução nossa²³).

Como consequência: “Tudo o que quer que puxe ou empurre uma coisa é da mesma forma puxado ou empurrado por essa coisa. Se alguém pressiona uma pedra com um dedo, o dedo também é pressionado pela pedra.” (NEWTON, 1999, p. 417, tradução nossa). Em outros termos: “A toda ação corresponde uma reação igual e contrária, ou seja, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas em sentidos opostos” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 76).

A Terceira Lei de Newton “fala” de forças, não dos efeitos destas forças. Assim não se preocupa como são aplicadas essas forças, podendo estas serem de natureza elétrica, magnética ou de contato. Todavia, Newton – *Proposição VI. Teorema VI*, Livro III - reconhece que a gravidade e o magnetismo, por exemplo, possuem naturezas distintas, tendo em vista que a atração magnética não é proporcional à quantidade de matéria atraída.

Corolário 5- “A força da gravidade é de um tipo diferente da força magnética. Pois a atração magnética não é proporcional à [quantidade de] matéria atraída” (NEWTON, 1999, p. 810).

Como não depende do tipo de força, a Terceira Lei de Newton é válida independentemente da existência de forças de natureza dissipativas, como o atrito. Sendo igualmente válida para corpos em repouso ou em movimento, seja ele uniforme ou acelerado.

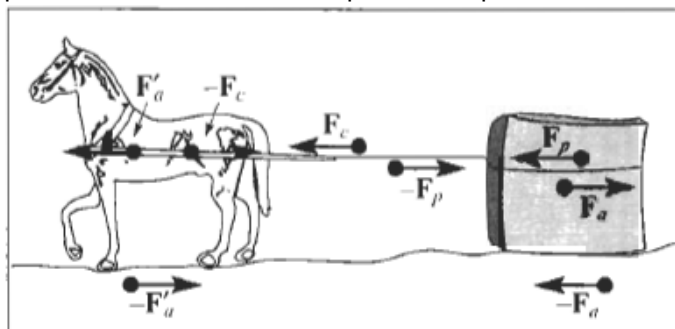
Em última análise, observa-se a seguinte passagem do *Principia*:

Se um cavalo puxa uma pedra amarrada a uma corda, o cavalo (por assim dizer) será igualmente puxado em direção à pedra, pois a corda, esticada nas duas extremidades, puxará o cavalo em direção à pedra tanto quanto a pedra em direção ao cavalo por um mesmo esforço que tanto impede o movimento para frente de um, tanto quanto promove o movimento para frente do outro (NEWTON, 1999, p. 417).

Para uma melhor compreensão, o trecho descrito acima pode ser ilustrado da seguinte forma (Figura 3):

²³ Tradução livre feita pelos autores a partir do *Mathematical Principles of Natural Philosophy by Isaac Newton: A New Translation*, que foi traduzido do latim para o inglês por I. Bernard Cohen e Anne Whitman.

Figura 3 - Forças que atuam sobre o cavalo ao puxar uma pedra.



Fonte: Nussenzveig (2002, p. 105).

Diante da ilustração acima, bem como da análise da passagem descrita anteriormente, é possível afirmar que:

- Ao mesmo tempo em que o cavalo puxa o bloco ele é puxado pelo bloco. Logo, a corda distendida puxa o bloco em direção ao cavalo, $-\vec{F}_c$, ao mesmo tempo que puxa o cavalo em direção à pedra, \vec{F}_c , isto é, ao mesmo tempo em que contribui para o progresso do movimento do bloco, obstrui o progresso do movimento do cavalo²⁴. Nas palavras do próprio Newton, “a corda esticada (...) puxará o cavalo em direção à pedra tanto quanto a pedra em direção ao cavalo por um mesmo esforço que tanto impede o movimento para frente de um, tanto quanto promove o movimento para frente do outro” (NEWTON, 1999, p. 417);
- As duas forças iguais em magnitude e opostas em direção, $-\vec{F}'_a$ e \vec{F}'_a , anunciam a igualdade entre “ação e reação”. Contudo, essas forças, ilustradas a partir da Terceira Lei de Newton, não podem produzir uma condição de equilíbrio, tendo em vista, que são aplicadas em corpos diferentes. Portanto, tanto o cavalo, quanto a pedra, não terão seus movimentos alterados por conta das forças que um exerce sobre o outro, que possui mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos.
- O cavalo para se deslocar para frente, exerce uma força para trás sobre o solo, $-\vec{F}'_a$. De maneira simultânea, o cavalo sofre a ação de uma força contrária, \vec{F}'_a , que a critério de operacionalização matemática podemos

²⁴ Para uma análise pormenorizada sobre todas as forças que atuam no sistema formado entre o cavalo e a pedra, ver Nussenzveig (2002, p. 78-79).

definir como reação, que atua sobre o cavalo, no sentido do movimento, impulsionando-o para frente. Assim, o cavalo ao aplicar uma força de atrito contrária ao sentido do movimento, sofre a ação de uma força contrária, que atua impulsionando o cavalo para frente. Sendo a força que atua no sentido do movimento a responsável pelo movimento do cavalo, tendo em vista que os efeitos das forças sobre o cavalo e o chão são diferentes, pois os efeitos dessas forças dependem de suas massas.

No Escólio das Leis dos Movimentos, Livro I do *Principia*, Newton apresenta a primeira análise acerca da atração mútua entre corpos:

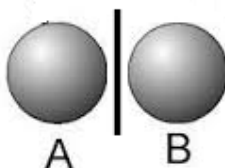
Eu demonstro a terceira lei do movimento para atrações brevemente como segue. Suponha que entre os dois corpos A e B, que se atraem, qualquer obstáculo seja interposto, de modo a impedir que eles se unam. Se um corpo A é mais atraído em direção ao outro corpo B do que aquele outro corpo B é atraído em direção ao primeiro corpo A, então o obstáculo será mais fortemente pressionado pelo corpo A que pelo corpo B e, portanto, não permanecerá em equilíbrio. A pressão mais forte prevalecerá e fará o sistema dos dois corpos e o obstáculo se mover em frente na direção de A ou em direção a B e, no espaço vazio, continuar indefinidamente com um movimento sempre acelerado, que é absurdo e contrário a primeira lei do movimento. Pois, de acordo com a primeira lei, o sistema terá que perseverar em seu estado de repouso ou de se mover uniformemente para a frente em linha reta, e, portanto, os corpos insistirão igualmente no obstáculo e, por esse motivo, serão igualmente atraídos um pelo outro [...] (NEWTON, 1999, p. 427-428, tradução nossa).

Em uma linguagem moderna, o trecho descrito acima deve ser analisado da seguinte forma:

(1) Os corpos A e B são atraídos mutuamente um pelo outro, por um par de forças que atua de acordo com a Terceira Lei de Newton. Logo, o sistema formado pelos corpos A e B, e o obstáculo, está em equilíbrio²⁵ (Figura 4):

²⁵ Equilíbrio estático, $\vec{v} = 0$, $\vec{a} = \mathbf{0}$, portanto, $\sum \vec{F} = \vec{0}$. O que significa que a soma vetorial de todas as forças (a força resultante) agindo sobre o sistema formado pelo corpo A e B, e o obstáculo, é nula. De maneira semelhante, no equilíbrio estático a resultante dos torques de todas as forças que atuam sobre o sistema, com relação ao eixo de rotação, também é nula ($\sum \vec{\tau} = \vec{0}$). Por consequência, o sistema não apresenta aceleração angular.

Figura 4 - Interação mútua entre os corpos, A e B, e um obstáculo.



Fonte: Produzida pelo autor.

(2) Se o corpo A, por exemplo, fosse mais atraído do que o corpo B, pressionaria infinitamente o obstáculo de tal maneira que entraria em movimento acelerado em direção ao corpo B, o que contrariaria a primeira Lei de Newton;

(3) A partir da primeira Lei de Newton, o sistema formado pelos corpos A e B, e o obstáculo, devem permanecer em seu estado de repouso, ou de movimento retilíneo e uniforme. Para tanto, devem pressionar o obstáculo por uma força igual em intensidade, direção e de sentidos opostos, em conformidade com a Terceira Lei;

(4) Por fim, a partir do experimento com magnetita e ferro, afirma que ambos, assim como quaisquer outros pares de corpos, são igualmente atraídos um pelo outro, permanecendo em equilíbrio.

Ao final do referido Escólio, Newton (1999) afirma que “[...] a gravidade é mútua entre a Terra e suas partes” (NEWTON, 1999, p. 424). Se assim não fosse, as partes que compõem a Terra pressionariam uma à outra, com pesos distintos, fazendo com que a Terra realizasse um movimento rumo ao infinito, o que não ocorre. Dessa forma, Newton mostra estar preocupado em destacar a veracidade da Terceira Lei, como um conceito que expressa que a ação e reação são encontradas aos pares, sendo iguais em intensidade e direção, mas que atuam em sentidos opostos.

Após apresentar uma síntese sobre a Terceira Lei, serão analisados, na próxima seção, os argumentos newtonianos para explicar o conceito de interação mútua presente na Gravitação Universal. Essa análise é desenvolvida inicialmente no Livro I, no qual Newton analisa o movimento dos corpos que tendem um para o outro com forças centrípetas. Posteriormente, a partir do exemplo da interação entre Júpiter e Saturno, serão abordados os argumentos newtonianos para explicar, a partir da Terceira Lei, a interação mútua entre corpos.

3. GRAVITAÇÃO UNIVERSAL E O CONCEITO DE INTERAÇÃO MÚTUA

Entre novembro de 1679 e dezembro de 1680, Robert Hooke (1635-1703) foi responsável em apresentar para Newton uma hipótese a respeito da dinâmica do movimento circular. Na concepção de Hooke, um movimento central era decomposto da seguinte forma: uma componente de caráter inercial, que representa o movimento que o corpo teria caso não fosse submetido a uma força central; outra de movimento acelerado atrativo, concebido a partir de uma força que atua em direção a um centro atrativo. Como resultado da influência da hipótese levantada por Hooke, após anos de discussões e discordâncias, Newton foi levado a mudar sua concepção sobre a dinâmica planetária, aspecto relevante para a formulação da Gravitação Universal (COHEN, 1983, 1988, 1999; TEIXEIRA et al., 2010; WESTFALL, 1971, 1995;). O método de Hooke foi aplicado por Newton no *Principia*, Seção II, Livro I.

PROPOSIÇÃO I²⁶. TEOREMA I. As áreas, que corpos descrevem ao girar através de raios desenhados até um centro de força imóvel, estão de fato situadas nos mesmos planos imóveis, e são proporcionais aos tempos nos quais elas são descritas (NEWTON, 1999, p. 444, tradução nossa).

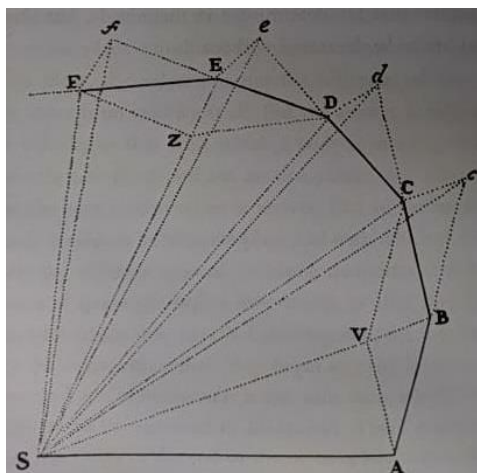
Na referida proposição, Newton realiza uma discussão geral²⁷ da Lei das áreas de Kepler²⁸. Em outras palavras, mostra como um corpo inicialmente inercial se move de acordo com a Lei das áreas de Kepler quando submetido à ação de uma força central (Figura 5).

²⁶ No período correspondente às trocas de correspondências entre Newton e Hooke, a Lei das áreas de Kepler não aparecia nos principais manuais astronômicos. Posteriormente, diante da hipótese apresentada por Hooke, Newton atribuiu um caráter dinâmico à lei das áreas, que resultou na Proposição I, Livro I do *Principia*.

²⁷ Newton teria apenas afirmado que as áreas descritas são iguais, sem demonstrar. Ao mesmo tempo, não especifica a natureza da força, nem o tipo de curva (TEIXEIRA, 2010a).

²⁸ Segunda Lei de Kepler: Um planeta move-se ao longo da sua órbita a uma taxa tal que a linha que une o Sol ao planeta varre áreas proporcionais aos intervalos de tempo.

Figura 5 - Movimento de um corpo submetido a uma força centrípeta.



Fonte: Newton (1999, p. 444).

Na Figura 5, temos que um corpo que se move inercialmente entre duas posições, A e B, em intervalos de tempos iguais, continuaria a se mover até o ponto c no mesmo tempo. Todavia, se no ponto B o corpo é submetido a uma força impulsiva direcionada para o ponto S, a direção de seu movimento é alterada para o ponto C, no mesmo intervalo de tempo. Na referida proposição Newton mostra que os triângulos formados pelos sucessivos segmentos que compõe a poligonal e os segmentos que ligam o corpo ao ponto S possuem áreas iguais, ou seja, as áreas dos triângulos SBC e SAB são iguais, portanto, obedecem à Lei das áreas. Quando o corpo atinge os pontos C, D, E e F ocorre o mesmo, e à medida que o intervalo entre a ação da força diminui, tornando-se indefinidamente pequeno, o número de triângulos aumenta e suas áreas diminuem proporcionalmente, a linha poligonal tende a uma curva.

Para Newton, um corpo inicialmente em movimento inercial passa a se mover em uma trajetória curva, obedecendo à Lei das áreas, quando submetido continuamente a uma força centrípeta. Posteriormente, Proposição II, afirma que um corpo que realiza um movimento curvilíneo obedece à Lei das áreas, logo está sujeito à ação de uma força central que altera seu movimento inercial, ou seja, descreve uma situação inversa daquela apresentada na proposição anterior. Portanto, essas duas proposições indicam que a Lei das áreas é uma condição fundamental para a existência de uma força centrípeta.

PROPOSIÇÃO II. TEOREMA II. Todo corpo que se move em alguma linha curva descrita em um plano e, por um raio traçado a um ponto,

imóvel ou movendo-se uniformemente para a frente com um movimento retilíneo, descreve áreas em torno desse ponto proporcional aos tempos, é estimulado por uma força centrípeta tendendo para o mesmo ponto (NEWTON, 1999, p. 446, tradução nossa).

Na sequência, Proposição III, generaliza a proposição anterior para um centro de força acelerado.

PROPOSIÇÃO III. TEOREMA III. Todo aquele que, por um raio traçado ao centro de um segundo corpo, movendo-se de qualquer forma, descreve áreas em volta deste centro que são proporcionais aos tempos, são incentivadas por uma força composta pela força centrípeta que tende em direção ao segundo corpo e por toda a força acelerativa relativa pela qual esse segundo corpo é estimulado (NEWTON, 1999, p. 448).

A Proposição IV estabelece uma medida da força centrípeta para o movimento circular uniforme. Do mesmo modo que sinaliza a possibilidade de extrapolar esse resultado para o movimento dos corpos celestes (TEIXEIRA et al., 2010).

PROPOSIÇÃO IV. TEOREMA IV. As forças centrípetas dos corpos, que por movimentos uniformes descrevem círculos diferentes, tendem aos centros dos mesmos círculos; e estão umas para as outras da mesma forma que os quadrados dos arcos descritos em tempos iguais, divididos pelos raios dos círculos (NEWTON, 1999, p. 449, tradução nossa).

Em outros termos, de acordo com Proposição IV, as forças centrípetas, \vec{F} , dos corpos que realizam movimentos uniformes em torno de círculos diferentes, possuem os mesmos centros. Ademais, essas forças são diretamente proporcionais aos quadrados dos arcos descritos por estes corpos e inversamente proporcionais aos raios dos círculos.

$$|\vec{F}| \propto \frac{S^2}{R} \quad (9)$$

Com o auxílio dos corolários 1, 2 e 6, da proposição citada, bem como da terceira Lei de Kepler²⁹, é possível, utilizando uma linguagem moderna, alcançar uma relação que designa como a força centrípeta, $|\vec{F}|$, varia com o inverso do quadrado da distância, a saber: **COROLÁRIO 1.** “Dado que esses arcos são como

²⁹ A razão entre os quadrados dos períodos de revolução de dois planetas quaisquer é igual à razão dos cubos de suas distâncias médias ao Sol. Em outras palavras, a lei harmônica de Kepler, afirma que os quadrados dos períodos de revolução dos planetas são proporcionais aos cubos das suas distâncias médias ao Sol.

as velocidades dos corpos, as forças centrípetas estarão em uma razão composta pela razão quadrada das velocidades diretamente e pela razão inversa simples dos raios” (NEWTON, 1999, p. 450, tradução nossa).

A passagem acima pode ser reescrita da seguinte forma: Como os arcos são diretamente proporcionais às velocidades dos corpos, as forças centrípetas são diretamente proporcionais ao quadrado das velocidades e inversamente proporcional aos raios.

De acordo com Galileu, os arcos, S , são proporcionais às velocidades (v) em um mesmo intervalo de tempo (T). Do exposto, conclui que a velocidade deve ser representada pelo arco S , ou seja:

$$S \propto v \quad (10)$$

Substituindo (10) em (9), temos que

$$|\vec{F}| \propto \frac{v^2}{R} \quad (11)$$

COROLÁRIO 2. E como os tempos periódicos estão em uma razão composta pela razão dos raios diretamente e pela razão das velocidades inversamente, as forças centrípetas estão em uma razão composta pela razão dos raios diretamente e pela razão inversa do quadrado dos tempos periódicos (NEWTON, 1999, p. 450, tradução nossa).

Utilizando uma linguagem moderna é possível reescrever o corolário acima da seguinte forma: Como os períodos são diretamente proporcionais aos raios e inversamente proporcional às velocidades, as forças centrípetas são diretamente proporcionais aos raios e inversamente proporcionais aos quadrados dos períodos.

A partir dos resultados de Galileu, temos que

$$T \propto \frac{R}{v} \quad (12)$$

De (11) e (12), podemos alcançar que

$$|\vec{F}| \propto \frac{R}{T^2} \quad (13)$$

COROLÁRIO 6. “Se os tempos periódicos estão na raiz quadrada do cubo da razão dos raios, portanto, as velocidades são inversamente como as raízes

quadradas dos raios, as forças centrípetas serão inversamente como os quadrados dos raios; e vice-versa” (NEWTON, 1999, p. 451, tradução nossa).

Como os tempos periódicos são diretamente proporcionais à raiz quadrada do raio ao cubo, podemos escrever que:

$$T \propto \sqrt{R^3} \quad (14)$$

De acordo com a terceira Lei de Kepler, temos que:

$$T^2 \propto R^3 \quad (15)$$

Relacionado as expressões (11), (12) e 15, tem-se

$$|\vec{F}| \propto \frac{1}{R^2} \quad (16)$$

De acordo com a relação (16), a força centrípeta, que concebe um movimento circular e uniforme, é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o corpo e o centro da trajetória descrita por este. Ademais, a força centrípeta pode ser aplicada aos corpos celestes, assim como descreve Newton no Escólio da Proposição IV: “O caso do *Corolário 6* vale para os corpos celestiais [...]” (1999, p. 452). Newton também expõe ser possível relacionar a força centrípeta com qualquer outra força conhecida, de modo que:

[...] com a ajuda da proposição anterior e seus corolários, a proporção de uma força centrípeta com qualquer força conhecida, como a da gravidade, também pode ser determinada. Se um corpo gira pela força de sua gravidade em um círculo concêntrico com a Terra, essa gravidade é sua força centrípeta (NEWTON, 1999, p. 452, tradução nossa).

No decorrer da Seção II, Proposição VI, Newton apresenta uma maneira de medir a força centrípeta para qualquer órbita de centro imóvel. Na sequência, proposições de VII a XIII, estuda a Lei de força associada a uma força centrípeta para um corpo que se movimenta em diferentes trajetórias. Como resultado, afirma que a força centrípeta varia com o inverso do quadrado da distância a um dos focos, para qualquer órbita com centro imóvel, isto é, curvilínea, sejam elas circulares, elípticas, parabólicas ou hiperbólicas³⁰. Entretanto, os resultados eram válidos dentro de certas aproximações, a saber: “no limite em que os arcos, cordas e

³⁰ Os resultados apresentados nas proposições XI, XII e XIII, se estendem para seções cônicas (Proposição XVII), de tal forma que o movimento sob a ação de uma força que varia com o quadrado da distância possui uma trajetória cônica, ou seja, uma elipse, uma parábola ou uma hipérbole.

tangentes tendiam a coincidir entre si por aproximação entre os extremos de tais linhas” (TEIXEIRA et al., 2010, p. 239).

É preciso ficar claro que os resultados apresentados por Newton descrevem a força em termos matemáticos, isto é, não incluem, até este ponto, qualquer mecanismo físico para explicar como essa força se propaga. Ainda assim, os resultados apresentados na Proposição IV são fundamentais para o desenvolvimento da Gravitação Universal (TEIXEIRA., 2010).

A hipótese levantada por Hooke favoreceu a ocorrência de algumas mudanças relevantes nas ideias newtonianas que contribuíram para o desenvolvimento da Gravitação Universal, a saber: (1) Abandono do conceito de força centrífuga, enquanto tendência de se afastar do centro, para adotar o conceito de força centrípeta, que varia inversamente com o quadrado da distância ao centro de força; e o (2) Desenvolvimento do caráter dinâmico das Leis das áreas, que levou Newton a afirmar que o movimento planetário em órbitas curvilíneas, assim como o movimento dos cometas, é resultado da combinação de um movimento inercial e de uma força centrípeta que varia com o inverso do quadrado da distância (Proposição I e II, Livro I, *Principia*). Para Cohen (1983, 1988), a partir das trocas de correspondências com Hooke, Newton também foi levado a desenvolver a ideia de uma força atrativa, capaz de atuar a grandes distâncias e que produz órbitas curvilíneas.

A influência da hipótese de Hooke não levou Newton a desenvolver a Gravitação Universal por completo. Entretanto, a visita do astrônomo Edmond Halley (1665-1742), em agosto de 1684, representa outro momento marcante no caminho que leva Newton ao desenvolvimento da Gravitação Universal. Ao visitar Newton em Cambridge, Halley o questiona sobre qual seria a trajetória descrita pelos planetas ao serem continuamente atraídos pelo sol por uma força que varia com o inverso do quadrado da distância³¹. No mesmo momento, Newton teria respondido se tratar de uma elipse, de acordo com seus cálculos³². Posteriormente, Newton volta a se

³¹ “Se uma força atrativa central faz um objeto desviar-se de um caminho inercial e mover-se em uma curva, que tipo de curva resulta se esta força varia com o inverso do quadrado da distância? ” (COHEN, 1981 apud PEDUZZI, 2010, p. 79).

³² A partir da influência de Hooke, Newton já havia resolvido esse problema, em um artigo de 1679 não publicado. No referido artigo, Newton demonstrou matematicamente a hipótese de Hooke de “que na elipse, obedecendo-se à Lei das áreas, a força é do tipo $1/R^2$ ” (TEIXEIRA, 2010, p. 227).

debruçar com veemência sobre o estudo da astronomia e da mecânica celeste, e em novembro de 1684, é submetido para a *Royal Society* a primeira versão do documento intitulado *De Motu*, que mais tarde se transformaria no *Principia*. Na primeira versão do tratado, Newton não só demonstra se tratar de uma elipse, assim como discute o significado físico das Leis de Kepler (COHEN, 1983).

Nesse tratado, Newton desenvolveu a ideia de que o movimento planetário é resultado de um sistema interativo de muitos corpos (COHEN, 1983, 1988, 1999). Como consequência, “os planetas nem se movem exatamente em órbitas elípticas nem revolvem duas vezes na mesma órbita” (COHEN, 1988, p. 295). Assim, no mundo físico, no qual todos os corpos interagem gravitacionalmente uns sobre os outros, as Leis de Kepler não são válidas³³.

Há tantas órbitas para um planeta quantas as suas revoluções, tal como no movimento da Lua, e a órbita de qualquer planeta depende do movimento combinado de todos os planetas, para não mencionar a acção de todos estes uns sobre os outros. [...] Considerar simultaneamente todas estas causas do movimento e definir estes movimentos por leis exactas convenientes ao cálculo excede, a menos que esteja enganado, a capacidade de todo o intelecto humano (NEWTON apud COHEN, 1988, p. 295-296).

Segundo Cohen (1983, 1988,1999), entre os três meses (aproximadamente) que separam a última revisão do *De motu* e a publicação da primeira versão do *Principia*, Newton teria desenvolvido suas ideias sobre a Terceira Lei, bem como a utilizou no estudo dos movimentos planetários³⁴. Esse argumento pode ser analisado à luz do manuscrito – O Sistema de Mundo – no qual Newton expressa os

³³ A distinção entre o construto matemático, em que as Leis de Kepler são válidas, e o mundo físico, na qual essas leis são hipóteses, é uma das características fundamentais do método utilizado por Newton no desenvolvimento de sua mecânica racional e representa um dos pilares do sistema de mundo de Newton (COHEN, 1988, 1999). Nesse contexto, as Leis de Kepler são válidas em uma construção matemática idealizada em que pontos de massa, que não interagem entre si, descrevem uma órbita em torno de um centro matemático de força, ou de um corpo atrativo central fixo (COHEN, 1983).

³⁴ Não há documentos capazes de ilustrar como Newton veio a crer que os planetas atuam gravitacionalmente uns sobre os outros, no período entre a última versão do tratado *De Motu* e a publicação do *Principia*. Todavia, muitas passagens ao longo do *Principia*, são capazes de atestar que existe uma ação gravitacional entre os planetas, uma ação de todos eles uns sobre os outros. Como consequência, as Leis de Kepler sobre o movimento planetário não são válidas no mundo físico, apenas em uma construção matemática, em que pontos de massa giram em órbitas em torno de um centro matemático de força, ou de um centro fixo de força. Como as Leis de Kepler são hipóteses, os planetas não se movem em órbitas exatamente como suponha Kepler. Na concepção de Cohen (1983, 1999), a descoberta do caráter dinâmico das Leis de Kepler, são uma das principais características do aspecto revolucionário da dinâmica celeste de Newton.

fundamentos que o teriam levado a explicar o conceito de interação gravitacional mútua, a partir do suporte da Terceira Lei (COHEN, 1983, 1988)³⁵. No referido manuscrito, Newton afirma que:

A concordância dessas analogias. Uma vez que a ação da força centrípeta sobre os corpos atraídos é, a distâncias iguais, proporcional às quantidades de matéria nesses corpos, a razão requer que ela também seja proporcional à quantidade de matéria no corpo atraente. Pois toda ação é mútua e (pela terceira Lei do Movimento) faz com que os corpos aproximem-se um do outro e, portanto, deve ser a mesma em ambos os corpos. É verdade que podemos considerar um corpo como atraente e outro como atraído, mas esta distinção é mais matemática do que natural. A atração reside, de fato, em cada corpo na direção do outro, sendo, portanto, do mesmo tipo de ambos (NEWTON, 2008, p. 354).

Em seguida, a importância da Terceira Lei de Newton para explicar o conceito de interação mútua é evidenciada:

Suas coincidências. Daí que a força atrativa é encontrada em ambos. O sol atrai Júpiter e os outros planetas; Júpiter atrai seus satélites e, pela mesma razão, os satélites atuam tanto um sobre o outro como sobre Júpiter, e todos os planetas agem mutuamente entre si. E ainda que as ações mútuas de dois planetas possam ser distinguidas e consideradas como duas, pelas quais cada planeta atrai o outro, mesmo assim, como essas ações estão entre ambos, elas não perfazem duas, mas uma operação entre dois termos. [...] Não é por uma ação que o sol atrai Júpiter e por outra que Júpiter atrai o sol, mas é por uma única ação que o sol e Júpiter mutuamente buscam aproximar-se. Pela ação com que o sol atrai Júpiter, Júpiter e o sol aproximam-se (pela terceira Lei do Movimento), e também pela ação com que Júpiter atrai o sol [...] (NEWTON, 2008, p. 354).

As passagens do manuscrito 'O Sistema de Mundo', representam as primeiras alegações capazes de relacionar as perturbações gravitacionais mútuas dos planetas com a Terceira Lei de Newton. De acordo com Cohen (1983, 1988, 1999), trata-se dos mesmos passos que conduziram Newton à ideia de interação mútua presente na *Gravitação Universal*, meses antes da revisão do *De Motu*.

³⁵ No início de 1685, Newton teria terminado um rascunho preliminar dos *Principia*. De acordo com Cohen (1983, 1988), em uma versão inicial de um segundo livro, denominado de O Sistema do Mundo, que teria sido suprimido para dar lugar ao Livro III, Newton descrevia as etapas que o levava ao conceito de interações gravitacionais planetárias. Em meios aos estágios que compõem esse conceito, a terceira Lei de Newton possui papel fundamental, de tal forma que "não há razão para acreditar que não foi o mesmo caminho que o conduziu ao mesmo conceito pouco meses antes quando reviu o *De Motu*." (COHEN, 1988, p. 296).

Os argumentos newtonianos para explicar a interação mútua, ao longo do *Principia*, são analisados a partir do estudo sobre a interação entre Júpiter e Saturno³⁶. De acordo com o próprio Newton (1999, 2005), a interação entre os planetas e o sol, apesar de envolver uma força muito grande, pode ser ignorada, no entanto, o mesmo não deve ser aplicado na análise entre a conjunção entre Júpiter e Saturno³⁷.

Nas proposições de I a III, Livro III³⁸, a força central que retém os planetas, os satélites e a Lua em suas respectivas órbitas é o assunto abordado.

PROPOSIÇÃO I. TEOREMA I. As forças pelas quais os planetas circunjovianos³⁹ [ou satélites de Júpiter] são continuamente afastados dos movimentos retilíneos e são mantidos em suas respectivas órbitas são direcionadas para o centro de Júpiter e são inversamente proporcionais aos quadrados das distâncias dos lugares destes planetas para o centro.

PROPOSIÇÃO II. TEOREMA II. As forças pelas quais os planetas primários⁴⁰ são continuamente afastados dos movimentos retilíneos e mantidas em suas respectivas órbitas são direcionadas ao sol e são inversamente os quadrados de suas distâncias ao centro do Sol.

PROPOSIÇÃO III. TEOREMA III. A força pela qual a lua é mantida em sua órbita é direcionada para a Terra e é inversamente proporcional ao quadrado da distância do seu lugar para o centro da Terra (NEWTON, 1999, p. 802, tradução nossa).

A partir dessas proposições, Newton foi capaz de explicar como o movimento orbital dos planetas primários, dos satélites de Júpiter e da Lua, varia com o quadrado da distância ao centro de atração para cada movimento⁴¹.

³⁶ Na primeira edição do *Principia*, Newton não tinha evidência astronômica sobre a influência na perturbação do movimento de Saturno a partir da interação com Júpiter. Já na segunda edição, publicada em 1713, vinte seis anos depois - Proposição XIII, Teorema XIII, Livro III - descreve como a ação de Júpiter altera o movimento de Saturno. De acordo com Cohen (1999), Newton esperou para provar a existência da GU pela perturbação do movimento de Saturno por Júpiter, quer dizer, as evidências da interação gravitacional entre Júpiter e Saturno são importantes para provar a existência da GU.

³⁷ A força exercida por Júpiter em Saturno proporciona uma notável alteração no movimento de Saturno. Diferente da ação de Júpiter sobre Saturno, as ações mútuas dos planetas uns sobre os outros são tão pequenas que podem ser desprezadas, tendo em vista que a massa de Júpiter é muito grande, quando comparada com as massas combinadas de todos os outros planetas (COHEN, 1999).

³⁸ No Livro III, a partir das proposições matemáticas desenvolvidas nos Livros I e II, Newton utiliza os fenômenos celestes para apresentar as forças de gravidade que mantêm os planetas em suas órbitas, além de deduzir os movimentos dos planetas, dos cometas e da lua.

³⁹ Em volta de Júpiter.

⁴⁰ Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno.

⁴¹ Para Cohen (1983), essa é uma conclusão validada no Livro I – Proposição IV – no qual Newton analisa um movimento uniforme em órbitas circulares para mostrar que as forças que atuam sobre os satélites de Júpiter são inversamente proporcionais ao quadrado das distâncias entre suas posições e o centro da trajetória.

Na Proposição IV, Newton demonstra que a força que mantém a lua em sua órbita é da mesma natureza da força responsável pelo movimento dos corpos na superfície da Terra.

PROPOSIÇÃO IV. TEOREMA IV. A lua gravita em direção à Terra e, pela força da gravidade, é sempre atraída pelo movimento retilíneo e mantida em sua órbita (NEWTON, 1999, p. 803, tradução nossa).

Diante da referida proposição, Newton argumenta de maneira condicionada que se:

[...] a lua é privada de todo o seu movimento e deixada cair, de modo que desça à Terra com toda a força [...] pela qual é [normalmente] (pelo Corolário da Proposição III) mantida em sua órbita (...), no espaço de um minuto descreve um espaço de $15\frac{1}{2}$ pés de Paris, à distância de sessenta semidiâmetros terrestres, que equivale à distância média entre a lua e a Terra (NEWTON, 1999, p. 804).

A Proposição IV é um caminho explícito ao conceito de gravitação universal, tendo em vista que afirma que a força que atua tanto nos corpos celestes e terrestres é de mesma natureza⁴². Ademais, ele afirma que:

[...] aquela força pela qual a lua é mantida em sua órbita, ao descer da órbita da lua para a superfície da Terra, é igual à força da gravidade aqui na Terra, e assim (pelas regras 1 e 2) é aquela mesma força que geralmente chamamos de gravidade. Pois se a gravidade fosse diferente desta força, então os corpos que partem para a Terra por ambas as forças agindo juntas desceriam duas vezes mais rápido [...] totalmente contrário à experiência (NEWTON, 1999, p. 804, tradução nossa).

Deve-se entender que a causa das forças descritas acima, de acordo com as Regras I e II, tem uma única e mesma causa.

REGRA I. Não se deve admitir nenhuma causa a mais de coisas naturais do que aquelas que são tanto verdadeiras quanto suficientes para explicar seus fenômenos.

REGRA II. Portanto, as causas atribuídas aos efeitos naturais do mesmo tipo devem ser, na medida do possível, as mesmas (NEWTON, 1999, p. 795, tradução nossa).

⁴² Para uma análise didática a respeito da Proposição IV, ver Freire et al. (2004).

Em outros termos, as Regras⁴³ I e II definem uma singularidade para as causas dos fenômenos. Portanto, representam uma forte convicção newtoniana a respeito da uniformidade de toda a natureza. Por consequência,

[...] a força pela qual a lua é mantida em sua órbita é a mesma que geralmente chamamos de gravidade. Pois, se assim não fosse, a pequena lua no topo de uma montanha deve estar sem gravidade ou cair duas vezes mais rápido do que os corpos pesados em geral (NEWTON, 1999, p. 805, tradução nossa).

Na Proposição V, afirma que a força centrípeta, que mantém os corpos celestes em órbita, é uma força gravitacional que será chamada de gravidade.

Até agora você chamou "centrípeta" a força pela qual os corpos celestes são mantidos em suas órbitas. Está agora estabelecido que essa força é a gravidade e, portanto, a chamaremos de gravidade a partir de agora. Pois a causa da força centrípeta pela qual a lua é mantida nela, a órbita deve ser estendida a todos os planetas, pelas regras I, II e IV (NEWTON, 1999, p. 806, tradução nossa).

Essa conclusão parte do pressuposto que as revoluções dos planetas circunjovianos⁴⁴, circunsaturnos⁴⁵ e circunsolares⁴⁶, são do mesmo tipo da revolução da lua em volta da Terra. Portanto, possuem o mesmo tipo de causa, isto é, uma força que tende para o centro de suas trajetórias, que varia com o inverso do quadrado da distância dos lugares para o centro do planeta desviando-o de seu movimento retilíneo.

No decorrer da *Proposição V*, Newton afirma que a gravidade, que varia com o inverso do quadrado da distância, se estende a todos os planetas, de modo que,

[...] uma vez que, pela terceira lei do movimento, toda atração é mútua, Júpiter gravitará em direção a todos os seus satélites, Saturno em direção a seus satélites, e a Terra gravitará em direção à lua e o sol em direção a todos os planetas primários (NEWTON, 1999, p. 806, tradução nossa).

Portanto, assim como Júpiter e Saturno, “o Sol perturba os movimentos lunares e o sol e a lua perturbam nosso mar [...]” (NEWTON, 1999, p. 806). Dessa maneira, o papel da Terceira Lei no desenvolvimento do conceito de interação gravitacional

⁴³ As Regras I e II são as únicas que aparecem na primeira edição do *Principia*, apesar de não serem chamadas assim no período. Na segunda edição, em 1713, acrescentou a Regra III e a Regra IV apenas na terceira edição, em 1726 (COHEN; WESTFALL, 2002).

⁴⁴ Em torno de Júpiter.

⁴⁵ Em torno de Saturno.

⁴⁶ Em torno do sol.

mútua é destacado, tendo em vista que Newton reconhece que todos os planetas interagem uns com os outros e que são centros de força submetidos constantemente a gravidade.

De acordo com Cohen (1983), o Corolário 3 da Proposição V representa uma prova fenomenológica da Gravitação Universal. Reflete, também, uma característica marcante do estilo newtoniano, tendo em vista que no Livro III Newton trata de modelos físicos e não fica restrito apenas aos construtos matemáticos e simplificados do sistema de mundo dos Livros I e II⁴⁷.

COROLÁRIO 3. Todos os planetas gravitam mutuamente em direção um aos outros, pelo Corolário 1 e 2. E, portanto, Júpiter e Saturno quase em conjunção, ao se atraírem, perturbam sensivelmente os movimentos um do outro. Então o sol perturba os movimentos lunares e o sol e a lua perturbam nosso mar, como será explicado a seguir (NEWTON, 1999, p. 806, tradução nossa).

Newton estende esse argumento ao afirmar na Proposição VI:

Todos os corpos gravitam em direção a cada um dos planetas e, a uma distância determinada do centro de qualquer planeta, o peso de qualquer corpo em relação ao planeta é proporcional à quantidade de matéria que o corpo contém (NEWTON, 1999, p. 806, tradução nossa).

Tais considerações o levam a concluir, posteriormente - Proposição VII. Teorema VII – que a gravidade que tende para todos os corpos é proporcional à quantidade de matéria que eles possuem separadamente. Em outros termos, entende-se que a gravidade que atua sobre um planeta é proporcional à quantidade de matéria que este possui individualmente⁴⁸. Portanto, a igualdade entre as razões da gravidade da matéria como um todo e entre suas partes é estabelecida pela Proposição VII.

No decorrer da referida proposição – Corolário I - afirma que todos os corpos devem mutuamente gravitar uns em direção aos outros. Assim, a força de gravidade, enquanto uma propriedade universal de todos os planetas, é estendida para uma

⁴⁷ Todavia, é preciso ter em mente que o Livro III também contém construtos matemáticos e construtos simplificados que caracterizam a primeira fase do estilo newtoniano.

⁴⁸ De acordo com a Teoria Geral da Relatividade, o movimento de queda de um corpo na superfície da Terra é causado pelo campo gravitacional causado pela Terra em sua vizinhança, isto é, a gravidade é uma alteração no espaço. O termo gravidade utilizado por Newton, enquanto uma força gravitacional, difere da ideia de gravidade como um campo gravitacional de interação, assim como é definido atualmente.

propriedade universal de todos os corpos (COHEN, 1983; CUSHING, 1982). Dessa forma, a força gravitacional, a partir da Terceira Lei, é transformada em uma ‘gravitação universal’, isto é, “[...] em uma força que atua mutuamente sobre e entre qualquer par de mostras de matéria em qualquer parte do universo” (COHEN, 1983, p. 286).

Após reconhecer que todos os planetas gravitam mutuamente uns em direção aos outros e que a força de gravidade⁴⁹ em direção a esses planetas varia com o inverso do quadrado da distância, Newton afirma que:

[...] uma vez que todas as partes de qualquer planeta A são pesadas [gravitam] em direção a qualquer planeta B, e uma vez que a gravidade de cada parte é para a gravidade do todo, como a matéria dessa parte para a matéria do todo, e desde então cada ação (pela terceira lei do movimento) há uma reação igual [...] (NEWTON, 1999, p. 810-811, tradução nossa).

Em outros termos, a gravidade que atua em direção a um planeta qualquer como um todo, é composta pela gravidade entre as partes que compõem o planeta (DENSMORE, 1995). Nas palavras do próprio Newton: [...] a gravidade em direção a um planeta inteiro surge e é composta das gravidades em direção às partes e que em relação a cada uma das partes individuais é inversamente proporcional aos quadrados das distâncias das partes [...] (NEWTON, 1999, p. 811, tradução nossa).

Portanto, em virtude da análise realizada até aqui, é possível concluir que a força da gravidade (F) que um planeta exerce sobre outro é proporcional à quantidade da matéria (m) do planeta que sofre a ação da força e varia com o inverso do quadrado da distância entre eles ($1/R^2$). Essa relação, em uma linguagem moderna, pode ser expressa da seguinte forma:

$$|\vec{F}| \propto \frac{m}{R^2} \quad (17)$$

Por outro lado, a interação mútua em um sistema formado por vários corpos ocorre aos pares, quer dizer, “todas as ações dos corpos entre si ou acontecem entre dois corpos” (NEWTON, 1999, p. 423, tradução nossa). Assim como descrito em ‘O Sistema de Mundo’, destacado nas páginas procedentes: [...]essas ações

⁴⁹ Força da gravidade, assim como foi enunciado anteriormente, é a força centrípeta.

estão entre ambos, elas não perfazem duas, mas uma operação entre dois termos (NEWTON, 2008, p. 354).

Portanto, a interação mútua entre todos os planetas, analisada à luz da Terceira Lei de Newton, ocorre aos pares, isto é, pela ação recíproca entre dois planetas, de maneira simultânea, com mesma intensidade, oposta em sentido, constituindo um par de forças que representa uma única ação. A intensidade da força de interação mútua varia com o inverso do quadrado da distância entre os planetas, além de ser proporcional à quantidade de matéria de ambos. Isto é,

Não é por uma ação que o sol atrai Júpiter e por outra que Júpiter atrai o sol, mas é por uma única ação que o sol e Júpiter mutuamente buscam aproximar-se. Pela ação com que o sol atrai Júpiter, Júpiter e o sol aproximam-se (pela terceira Lei do Movimento), e também pela ação com que Júpiter atrai o sol (NEWTON, 2008, p. 354).

Em uma linguagem moderna, é possível concluir que a intensidade da força gravitacional exercida por um planeta qualquer, A, sobre outro planeta B, F_{AB} , varia com o inverso do quadrado da distância entre eles, R_{AB}^2 , e é proporcional à massa de B, m_B (Relação 18). Enquanto a força gravitacional que o planeta B exerce sobre o planeta A, F_{BA} , também varia com o inverso do quadrado da distância entre eles, R_{BA}^2 , sendo proporcional à massa de A, m_A (Relação 19).

$$|\vec{F}_{AB}| \propto \frac{m_B}{R_{AB}^2} \quad (18)$$

$$|\vec{F}_{BA}| \propto \frac{m_A}{R_{AB}^2} \quad (19)$$

A força de interação mútua entre dois planetas A e B, F'_{AB} , representada pela Gravitação Universal de Newton, constitui uma única ação, que também varia com o inverso do quadrado da distância entre os planetas A e B, $1/R_{AB}^2$, mas é proporcional à massa de ambos os planetas, m_A e m_B :

$$|\vec{F}'_{AB}| \propto \frac{m_A m_B}{R_{AB}^2} \quad (20)$$

Essa relação pode ser generalizada, por exemplo, para a interação entre a lua e a Terra, assim como para um planeta em órbita ao redor do sol ou para dois corpos quaisquer. Ademais, é possível afirmar que o módulo da força de interação

entre dois corpos quaisquer, $|\vec{F}_G|$, varia com o inverso do quadrado da distância entre eles, $1/R^2$, sendo proporcional à massa de ambos os corpos, m e M .

$$|\vec{F}_G| \propto \frac{mM}{R^2} \quad (21)$$

Por conseguinte, ainda tomando como exemplo o sistema Terra-Lua, do mesmo modo que a Terra exerce uma força sobre a lua, esta exerce uma força sobre a Terra, o que constitui um sistema de interação. A interação entre a Terra e a lua representa uma ação recíproca entre dois corpos. Analisada a partir da Terceira Lei, essa interação representa um par de “ação e reação”, que equivale a uma única ação, atuando de maneira simultânea, com mesma intensidade e oposta em sentido. A intensidade da força de interação mútua do sistema Terra-Lua varia com o inverso do quadrado da distância entre eles⁵⁰ e é proporcional às suas massas⁵¹ (Relação 21). Assim, a força gravitacional que a Terra exerce sobre a lua, que tenderia a continuar se movendo inercialmente, passa a se mover em uma trajetória curva.

Portanto, podemos inferir que um corpo inicialmente em movimento inercial passa a se mover em uma trajetória curva, obedecendo à Lei das áreas, quando submetido continuamente à força gravitacional. Isso ocorre a partir da interação mútua, que ocorre aos pares a partir da Terceira Lei de Newton⁵². Logo, um planeta quando interage mutuamente com o sol, passa a girar em torno de um centro de gravidade comum, que por aproximação é o sol. A partir da interação os planetas são retidos em suas órbitas por uma força que atua continuamente sobre eles, que varia com o inverso do quadrado da distância ao centro da órbita e na direção ao centro desta. Essa força, além de manter os planetas em suas órbitas, é responsável por manter a lua retida em sua órbita, e possui a mesma natureza da força que atua sobre os corpos terrestres, sendo definida como gravidade. Ademais, a força de interação mútua se aplica a quaisquer corpos do universo.

Diante da análise realizada nessa seção, surge uma questão: Se todos os corpos agem gravitacionalmente uns sobre os outros, qual a base do método utilizado por Newton para estabelecer a Gravitação Universal, a partir da Terceira Lei, levando em consideração apenas a interação entre dois corpos, sem considerar a interação mútua entre todos os corpos? Uma resposta para essa questão

⁵⁰384.400 Km

⁵¹ Massa da Terra = $5,973332 \times 10^{24}$ kg; Massa da Lua = $7,3474271 \times 10^{22}$ kg.

⁵² A interação mútua também se aplica a todos os planetas e demais corpos que compõem o universo. Essa força sempre que ocorre aos pares em conciliação com a Terceira Lei.

perpassa por uma discussão a respeito do estilo utilizado por Newton no desenvolvimento da GU⁵³.

“O novo método era predominantemente experimental e diziam basear-se na indução; era também quantitativo, e não meramente observacional. Por conseguinte, poderia levar a leis e princípios matemáticos.” (COHEN, 2002, p. 164).

4. GRAVITAÇÃO UNIVERSAL E O ESTILO DE NEWTON

No prefácio da primeira edição do *Principia* Newton afirma que a mecânica racional é a ciência dos movimentos que resultam de forças, e das forças responsáveis em gerar movimentos. Logo, ofereceu o trabalho “[...] como os princípios matemáticos da filosofia, pois toda a essência da filosofia parece constituir nisso [...]” (NEWTON, 2016, p. 14).

Na Seção XI, Livro I, as bases pelas quais Newton desenvolveu sua mecânica são evidenciadas. Nesse momento, Newton estaria por admitir que os movimentos dos corpos celestes são demasiadamente complexos e não concede concordância entre teoria e observação. Como consequência, “[...] a teoria só pode, na melhor das hipóteses, apenas se aproximar do mundo real.” (SMITH, 2002, p. 141).

A matemática requer uma investigação dessas quantidades de forças e de suas proporções que se seguem de quaisquer condições que se possam supor. Então, voltando à física, essas proporções devem ser comparadas com os fenômenos, para que seja possível descobrir quais condições [ou leis] de forças se aplicam a cada tipo de corpo que atrai. E então, finalmente, será possível discutir com mais segurança as espécies físicas, causas físicas e proporções físicas dessas forças. (NEWTON, 1999, p. 588-589, tradução nossa).

O trecho do Escólio da Seção XI, descrito acima, exprime os estágios para caminhar dos construtos matemáticos em direção ao mundo da física, aos quais Newton afirma ser uma maneira segura de inferir a respeito da Filosofia natural a partir do estudo da ciência do movimento. Em síntese, os estágios podem ser descritos da seguinte forma: (1) Construções matemáticas para investigar as quantidades das forças sem restrições, ou seja, com total liberdade, sem se preocupar com as qualidades físicas das forças, apenas com suas quantidades e

⁵³ Diante do escopo do trabalho, bem como dos objetivos de estudo definidos anteriormente, não se propõe realizar uma discussão pormenorizada sobre o método de Newton. O foco da discussão se desenvolve a partir do método utilizado por ele ao longo do desenvolvimento da GU, que é diferente do método que ele utilizou em seus estudos na Óptica.

proporções matemáticas; (2) Os construtos matemáticos são comparados e contrastados com os dados da experimentação e da observação, isto é, com o mundo físico⁵⁴; e (3) Os construtos matemáticos, estabelecidos nas fases anteriores, são aplicados ao mundo físico (COHEN, 1983; 1999; COHEN; WESTFALL, 2002).

O construto matemático explorado por Newton no primeiro momento, estágio um, no qual um ponto de massa adimensional gira em torno de um centro matemático de força, não corresponde às condições do mundo físico, que é observado na natureza. Ele é caracterizado por um ponto de massa que se move em um espaço matemático, em um tempo matemático. No estágio dois, ou um primeiro estágio revisado, o centro de atração não será mais um ponto matemático, mas sim um segundo corpo ou um ponto de massa. Nesse estágio, Newton trabalha com corpos de tamanho e formas definidas, além de um sistema formado por mais de dois corpos em interação. No estágio três, os construtos matemáticos são aplicados no mundo físico. Ciente desses estágios Newton afirma que “será possível discutir com mais segurança as espécies físicas, causas físicas e proporções físicas dessas forças.” (NEWTON, 1999, p. 589, tradução nossa).

O método⁵⁵ utilizado por Newton ao longo do *Principia* descreve, de acordo com Cohen, um problema a ser enfrentado pela física: “[...] passar de construções ou sistemas matemáticos para a realidade física, ou dos princípios matemáticos de tais sistemas ou construtos para os princípios matemáticos da filosofia natural.” (COHEN, 1983, p. 104). Em outras palavras, Newton desenvolveu uma física-matemática na tentativa de explicar o mundo natural a partir dos entes e propriedades matemáticas, ou seja, uma espécie de construção matemática do mundo natural. Essa maneira pela qual Newton aborda um sistema físico, demasiadamente complexo, de maneira idealizada, é definida como “estilo newtoniano” (COHEN, 1983, 1999; COHEN; WESTFALL, 2002).

⁵⁴ As condições simplificadas do primeiro estágio são modificadas como resultado da comparação do construto matemático com o mundo real. Nesse momento, alguns parâmetros novos podem contribuir para que o construto matemático venha tornar-se mais semelhante as condições encontradas no mundo observado da natureza. Esta alteração produz um novo ou revisado estágio, denominado de estágio dois, que representa um novo e complexo construto matemático (COHEN, 1999; COHEN, 2002).

⁵⁵ O método foi um aspecto importante da Revolução Científica. Filósofos, em especial, Bacon e Descartes, assim como cientistas como Hooke, Galileu, Leibniz e Newton, se dedicaram por desenvolver um método pelo qual pudessem confirmar ou demonstrar alguma teoria ou princípio. Em meio a esse cenário, o método de Newton, que difere do método de Descartes, ganhou destaque, apesar das críticas (COHEN, 2002).

A interação mútua não pode ser verificada assim como outras leis da Física, pois é impossível investigar como todos os corpos que compõem o universo se atraem, assim como anuncia a Gravitação Universal (SAPUNARU, 2008; SMITH, 2002). Mesmo assim, essa lei expressa muito bem o “estilo newtoniano”. De acordo com a Gravitação Universal, todos os corpos estão interagindo entre si. Entretanto, o problema de interação entre muitos corpos é um problema que não tem solução, isto é, não possui uma solução matemática, haja vista que existem vários centros de gravidade atuando no sistema solar, que são móveis. Todavia, a partir do Corolário IV, Newton reconhece que as interações em um sistema formado por vários corpos ocorrem aos pares, isto é, “todas as ações dos corpos uns sobre os outros ocorrem entre dois corpos ou são compostas de tais ações entre dois corpos e [...] nunca introduzem qualquer mudança no estado de movimento [...] no centro comum de todos” (NEWTON, 1999, p. 423, tradução nossa). Essas interações, que ocorrem aos pares, envolvem forças internas que não modificam o centro de massa do sistema como um todo.

Nas proposições I, II e III, Livro I, analisadas anteriormente, Newton se debruça sobre o movimento de um ponto de massa adimensional em torno de um centro matemático de força, que representa o estágio um do “estilo newtoniano”. Do exposto, mostra como um corpo inicialmente inercial, se move de acordo com a Lei das áreas de Kepler, quando submetido à ação de uma força central.

Posteriormente, Seção XI⁵⁶, Livro I, ao analisar o movimento dos corpos que tendem um para o outro com forças centrípetas, um segundo e um terceiro corpo formam um sistema mais complexo, que também descreve uma trajetória curvilínea em torno de um centro de atração imóvel. Nessa circunstância, Newton reconhece que tal situação não reflete o que pode ser observado na natureza⁵⁷. Atrações são feitas em direção a corpos, e as ações dos corpos uns sobre os outros são sempre recíprocas e iguais pela Terceira Lei, de modo que se houver dois corpos, nem o atraído nem aquele que atrair estará realmente em repouso, mas ambos (pelo

⁵⁶ Anteriormente, SEÇÃO IX, Newton já havia introduzido um sistema mais complexo ao considerar o movimento de corpos em órbitas móveis.

⁵⁷ O construto matemático de um simples corpo e um centro de força matemático se distingue com o que acontece na natureza. Para Newton, tal situação “dificilmente existe no mundo natural.” Naquele mundo, “atrações são sempre direcionadas para corpos”, não para pontos matemáticos abstratos (COHEN, 1999).

Corolário IV, das leis do movimento), como são mutuamente atraídos, giram em torno de um centro de gravidade mútuo (NEWTON, 1999, 2005)⁵⁸. Ademais:

[...] se houver mais que dois corpos que ou são todos atraídos ou que atraem um único corpo, ou todos se atraem uns aos outros, esses corpos devem se mover com relação uns aos outros de tal modo que o centro comum de gravidade ou está em repouso ou se move uniformemente em linha reta (NEWTON, 1999, p. 561, tradução nossa).

Newton utiliza o conceito de força centrípeta e analisa suas condições e consequências matemáticas ao longo do Livro I. No decorrer de sua investigação reconhece que essa força é um conceito matemático, tendo em vista que somente forças matemáticas são direcionadas para pontos matemáticos. Por outro lado, no mundo da natureza, forças físicas surgem e são dirigidas para corpos físicos. Logo, no Livro I Newton não realiza nenhuma consideração a respeito do aspecto físico dessa força, nem sobre o modo de ação desta (COHEN, 1983, 1999).

Apesar de afirmar que um corpo submetido a uma força centrípeta, que varia com o inverso do quadrado da distância, gira em uma trajetória curvilínea (como uma elipse, por exemplo), com um foco no centro de força, não especifica que tipo de força é essa. No Livro III, essa força será definida como gravidade⁵⁹ (COHEN, 1983, 1999). Logo, esse procedimento destaca como Newton trabalhava inicialmente com sistemas matemáticos, Livro I e II, e não com aproximações do mundo físico, Livro III.

Na Seção XI, Livro I, Newton utiliza um construto mais completo ao analisar um sistema formado por vários corpos, que se atraem mutuamente. Dessa forma, investiga um construto mais próximo da realidade do mundo observado na natureza. Essa estratégia destaca uma nova etapa do “estilo newtoniano”, estágio dois, tendo em vista que os construtos matemáticos são comparados com a realidade física.

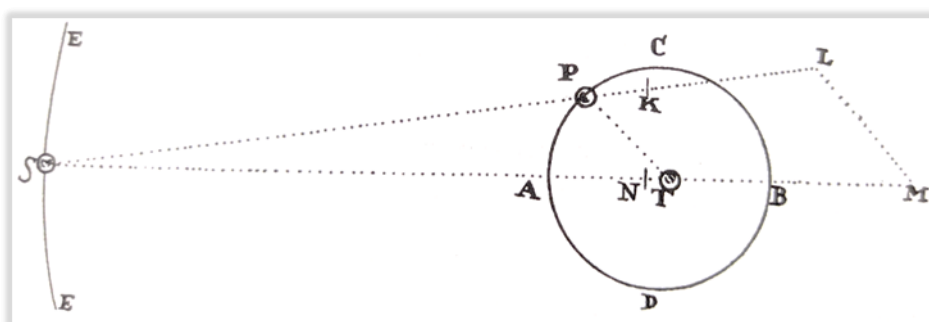
Na Proposição LXVI e seus vinte e dois corolários, Livro I, Newton analisa o problema de três corpos e introduz o estudo dos efeitos de perturbação de um corpo

⁵⁸ O Corolário IV afirma que o centro de gravidade de dois ou mais corpos não tem seu estado de movimento ou repouso alterados como resultado da interação desses corpos uns sobre os outros, ideia que também se aplica a um sistema de muitos corpos. Isso significa, excluindo-se qualquer tipo de impedimento externo, que o centro de gravidade comum de dois, ou vários corpos agindo uns sobre outros, está em repouso, ou se movendo uniformemente em linha reta. Como resultado, o Corolário IV continua válido para um sistema de muitos corpos (COHEN, 1999).

⁵⁹ Definir essa força foi um problema pelo qual Newton teve que enfrentar ao propor sua teoria matemática. Para Smith (2002), no Livro I Newton oferece uma teoria ‘genérica’ sobre a força do inverso do quadrado da distância e gravidade.

exterior em um anterior (Figura 6). Nesse momento, alguns parâmetros novos podem contribuir para que o construto matemático venha tornar-se mais semelhante às condições encontradas no mundo observado da natureza. Segundo Cohen (1999), Newton trabalha com um problema menos simples, que se assemelha ao movimento da lua (L) ao redor da Terra (T) sob ação da força perturbadora exercida pelo sol (S). Assim, essa proposição ilustra a passagem entre o estágio um e o dois do “estilo newtoniano”, que representa um novo construto matemático mais análogo com a realidade física (COHEN, 1999; 2002).

Figura 6 - Movimento de um corpo P em torno de um corpo T.



Fonte: (NEWTON, 1999, p. 582)

Na Figura 6, P se move em uma trajetória curvilínea, que é aproximadamente uma elipse, com centro em T e o vetor TP varre áreas iguais em tempos iguais. Esses corpos interagem mutuamente com o corpo S, que está muito distante, de acordo com a Lei do inverso do quadrado. Ao examinar os componentes da força de S sobre P, Newton concluiu que essas forças variam em relação com a posição relativa entre S e P. Como resultado, ocorre um desvio na trajetória curva desses corpos ou da Lei das áreas (COHEN, 1999). Portanto, na Proposição LXVI Newton analisou um problema que se assemelha ao movimento da lua ao redor da Terra sob a força perturbadora exercida pelo sol e a partir disso concluiu que corpos que interagem mutuamente não se movimentam exatamente de acordo com a Lei das áreas.

No Corolário 14 da referida proposição, é possível encontrar outra característica de como o método de Newton foi sendo ampliado para explicar o sistema de mundo. Nesse corolário, o conceito de “força absoluta” (ou medida absoluta de uma força), é utilizado pela primeira vez. Antes da Seção XI, Newton utiliza o conceito de massa unitária ou massa pontual. A “força absoluta” se refere à

quantidade absoluta de uma força que é dirigida para corpos que tendem para o centro. No caso da força centrípeta, esta é causada por um corpo central de massa (m). Diferente do conceito de massa unitária ou pontual, Newton traz as massas de corpos, tendo em vista que uma condição fundamental para o conceito de força gravitacional, que representa uma força absoluta ao centro, assim como é definida no Livro III (Seção 2.1), é a massa de um corpo central que gera uma força, que varia com o inverso do quadrado da distância⁶⁰ (COHEN, 1999).

Na sequência, Proposição LXVII, aborda o movimento de um corpo S que se move em uma órbita curvilínea em torno de um centro de gravidade mútua dos corpos interiores, P e T. Diante dessa análise, conclui que a trajetória descrita pelo corpo S é uma órbita que “mais se aproxima” da forma de uma elipse se o seu foco estiver nesse centro mútuo. Um sistema de vários corpos menores que giram em torno dos maiores é o problema analisado na Proposição LXVIII, ao qual Newton considera a interação entre os corpos S, P e T.

No final da Seção XI, Proposição LXIX, Livro I, estende a construção para sistemas de muitos corpos, que interagem mutuamente com forças acelerativas que são inversamente proporcionais aos quadrados da distância. De acordo com Smith (2002), essa proposição estabelece a base da Gravitação Universal, ou seja, os fundamentos pelos quais a gravidade é definida como universal e atuando entre todos os corpos do universo.

PROPOSIÇÃO LXIX. TEOREMA XXIX. Se, em um sistema de vários corpos A, B, C, D, ... algum corpo A atrai todos os outros, B, C, D, ..., por forças aceleradoras que são inversamente os quadrados das distâncias de o corpo de atração; e outro corpo B também atrai o resto dos corpos A, C, D, ... por forças que são inversamente os quadrados das distâncias do corpo que atrai; então as forças absolutas dos corpos atraentes A e B estarão entre si na mesma proporção que os corpos [isto é, as massas] A e B em si para os quais essas forças pertencem (NEWTON, 1999, p. 587, tradução nossa).

No decorrer na Seção XI é possível perceber como o “estilo newtoniano” se desenvolveu entre os estágios um e dois ao longo do *Principia*. No primeiro momento o estágio matemático um é ampliado ou alterado para o estágio dois, no qual um novo recurso do mundo físico é introduzido, nesse caso a força de um

⁶⁰ De fato, “no corolário 14, uma condição específica na proporcionalidade de “magnitude” ou massa de um corpo e a medida absoluta da força de atração que exerce.” (COHEN, 1999, p. 158).

terceiro corpo que se move sob ação de uma força centrípeta direcionadas para outros corpos também em movimento (COHEN, 1983; 1999). Logo, se desenvolve um construto matemático mais complexo que seja cada vez mais correlativo ao mundo da natureza. A Seção XI expressa como Newton aumentou a complexidade matemática em etapas gerenciáveis, ao invés de enfrentar o sistema de mundo, isto é, o mundo real, demasiadamente complexo, no primeiro momento⁶¹ (COHEN, 1983; 1999).

Na Seção XI são encontrados os fundamentos pelos quais a força centrípeta se tornou na força da gravidade, que é universal, ou seja, que atua entre todas as partículas do universo (SMITH, 2002). Nesse momento, Newton se depara com um problema: explicar como os corpos interagem à distância. Ele não se debruça diretamente sobre o problema do mecanismo de atuação entre corpos, todavia se propõe ao estudo das leis na natureza a partir do uso de uma teoria matemática que é aplicada ao mundo físico de uma maneira nova. Por consequência, forças são tratadas de maneira abstratas, independente do mecanismo.

Os construtos matemáticos desenvolvidos nos estágios um e dois, não mostram as propriedades físicas da força pela qual os planetas e seus satélites são submetidos ao longo do movimento orbital. No estágio três, os construtos matemáticos são aplicados ao mundo físico, Livro III. Dessa forma, Newton avança dos construtos matemáticos para as propriedades físicas das causas dessa força (COHEN, 2002).

Apesar de demonstrar que as forças gravitacionais existem, isto é, de explicar vários movimentos por meio da força de gravidade, não explicou o porquê dos corpos interagirem uns com os outros, quer dizer, não explicou a causa da força gravitacional. Newton rejeitava o uso de hipóteses metafísicas para explicar a “causa” da gravidade⁶² e se envolveu em uma polêmica ao desenvolver o conceito

⁶¹ Esse procedimento destaca que inicialmente Newton trabalhava com sistemas matemáticos complexos e não com aproximações do mundo físico (COHEN, 1983).

⁶² Na concepção de Newton, uma hipótese é considerada quando não há dedução a partir dos fenômenos. Nessa conjuntura, Newton utiliza hipóteses ao longo do *Principia* para expressar uma proposição, que não é um fenômeno e que não é deduzida a partir de um fenômeno, mas que é considerada sem nenhuma comprovação experimental (SAPUNARU, 2008). No caso da força da gravidade, o mesmo se deparou com um desafio ao tentar explicar conceitualmente essa força. Logo, o termo não faço hipóteses nesse contexto se refere a uma limitação de seu método, diante da dificuldade de atribuir, ou comprovar experimentalmente, a partir do fenômeno uma “causa” à gravidade, pois ele não pretende fazer hipóteses metafísicas a respeito da gravidade. Todavia, como não é o objetivo do estudo se debruçar sobre essa questão, para uma leitura pormenorizada sobre a

de uma força de gravidade que atuava à distância, que não podia ser explicada por uma teoria mecânica pautada na ação por contato⁶³. No Escólio Geral do *Principia*, diz: “[...] até aqui não pude deduzir dos fenômenos a razão dessas propriedades da gravidade e não pretendi fazer nenhuma hipótese [...]” (NEWTON, 1999, p. 943). Ao deixar a questão em aberto e utilizar expressões do tipo: “o atributo da gravidade é encontrado em todos os corpos” e “a gravidade deve ter lugar entre as qualidades primárias de todos os corpos”, foi criticado e acusado de descrever a gravidade como uma propriedade da matéria, isto é, de atribuir causas ocultas à gravidade (CHEBENI, 2013; KOYRÉ, 2002).

Segundo Cohen (2002), o objetivo newtoniano no *Principia* foi mostrar que os construtos matemáticos podiam ser aplicados ao mundo revelado pelos fenômenos. Por intermédio destes, os resultados matemáticos, Livros I e II, são aplicados “aos movimentos e propriedades do universo físico” (COHEN, 2002, p. 167). De acordo com o Fenômeno V, por exemplo, Newton afirma que: “Os planetas primários, por raios atraídos até a Terra, descrevem áreas de maneira alguma proporcional ao tempo, mas, por raios atraídos pelo sol, atravessam áreas proporcionais aos tempos.” (NEWTON, 1999, p. 801, tradução nossa).

A base lógica do “estilo newtoniano”, na concepção de Smith (2002), é a expressão “*if-quam proxime-then-quam proxime*” – *se quanto mais próximo chegarmos do fenômeno* – então mais próximo “será a caracterização das leis que regem estes fenômenos” (SAPUNARU, 2008, p. 56). As proposições dos Livros I e II do *Principia*, em sua grande maioria, possuem uma forma lógica “*if-then*”, que significa “se-então” (SMITH, 2002). As proposições assim demonstradas representam um caminho pelo qual a validade de uma proposição é aceita a partir de outras proposições admitidas como verdadeiras (SAPUNARU, 2008; SMITH, 2002). Como reflexo desse modelo lógico as teorias matemáticas dos Livros I e II do *Principia* estabelecem condições para alcançar conclusões sobre fenômenos que envolvem forças e movimento, para depois demonstrar outros fenômenos a partir das mesmas conclusões. Nas palavras de Smith: “Newton está usando a teoria

polêmica que envolve os princípios metodológicos utilizados por Newton para justificar o conceito de gravidade e o termo “não invento hipóteses”, ver Chebeni (2013).

⁶³ O historiador Jonh Henry afirma que Newton acreditava na ação à distância. Portanto, rechaça a ideia de alguns historiadores que defendem uma posição contrária. Para uma discussão pormenorizada sobre o tema, ver Henry (2007).

matemática em um esforço para transformar questões difíceis em questões empiricamente tratáveis.” (SMITH, 2002, p. 147).

Uma importante característica do método pelo qual Newton desenvolveu sua mecânica é o sistema de aproximações pelas quais as teorias matemáticas são submetidas. Os fenômenos, expressados a partir das proposições, são generalizações indutivas derivadas de observações específicas, que mantêm um “*quam proxime*” das observações (SMITH, 2002). Em outros termos, o uso de proposições e seus corolários na forma lógica “se-então”, permitiu que Newton realizasse aproximações capazes de tratar da complexidade do sistema de mundo.

Newton partiu de uma versão idealizada da natureza, na qual as teorias matemáticas são submetidas a uma série de aproximações capazes de realizar afirmações sobre os fenômenos “*quam proxime*” da realidade física (SMITH, 2002). Por exemplo, a órbita dos planetas é por aproximação uma elipse, logo as Leis de Kepler foram estabelecidas o “*quam proxime*”, isto é, não reflete o mundo físico como ele realmente é. Portanto, “as Leis de Kepler podem, na melhor das hipóteses”, ser verdade apenas próximo dos movimentos dos planetas e seus satélites, “não por imprecisão das observações, mas porque os verdadeiros movimentos são imensamente complicados”, que as leis de Kepler, ou qualquer outra lei, não consegue expressar (SMITH, 2002, p. 153-154).

Em conformidade com as Leis de Kepler, os planetas giram em torno do sol em trajetórias elípticas e varrem áreas iguais em tempos iguais, com o sol em um dos focos. Todavia, no mundo físico os corpos interagem mutuamente e o sol não está no foco da elipse. O centro de massa está no foco dessa elipse, porém, por aproximação, o Sol é considerado o centro de massa comum, tendo em vista que sua massa, em comparação com a massa dos demais planetas, é muito grande e o centro de massa comum é muito próximo dele. Logo, através da expressão “*if-quam proxime-then-quam proxime*”, base lógica do “estilo newtoniano”, Newton evitou estudar a complexidade da natureza como realmente ela é. Assim, partiu de uma versão idealizada da natureza, versão aproximada, em que as Leis de Kepler eram válidas, ao utilizar leis descritivas das posições e velocidades observadas, que eram aplicadas com perfeição ao sistema de mundo⁶⁴ (COHEN, 2002).

⁶⁴ Assim como analisado anteriormente, a força centrípeta varia com o inverso do quadrado da distância a um dos focos, para órbitas cônicas, sejam elas circulares, elípticas, parabólicas ou hiperbólicas. Todavia, os resultados são válidos dentro de certas aproximações, isto é, “no limite em

Newton reconhece que o mundo não pode ser representado por um simples construto matemático, sendo necessário haver modificações para se aproximar do sistema de mundo (COHEN, 1983, 1999). É preciso considerar, por exemplo, que no sistema formado pelo Sol e um planeta, cada um se moverá em uma órbita elíptica com respeito ao centro de massa comum. Essa modificação é resultado da ideia de que a atração entre o sol e a Terra é mútua, ou seja, da mesma forma que a Terra atrai e move o sol, este atrai e move a Terra (COHEN, 1983, 1999). Portanto, em qualquer sistema Sol-planeta o sol não é um ponto fixo incapaz de movimento ou atração relacionada ao planeta. Para mais, a partir da Terceira Lei de Newton, um simples sistema formado por um corpo é substituído por um sistema de dois corpos⁶⁵. Nesse cenário, o sistema solar é composto por uma série de sistemas de dois corpos de certo modo independentes, “cada um dos quais tem o sol como um dos corpos, sendo o outro o planeta”⁶⁶ (COHEN, 1983, p. 285).

No mundo físico, assim como analisado nos corolários das Leis do movimento, “atrações são sempre direcionadas para corpos”, não para pontos matemáticos abstratos. Mas se estes são dois corpos e eles atraem um ao outro, então de acordo com a terceira Lei do movimento, a ação de atração entre corpos são sempre mútuas e iguais. Conseqüentemente, se o sistema tem mais que dois corpos, então cada corpo tanto atrai todos os outros, quanto é por todos os outros atraído (NEWTON, 1999, 2005). Newton diz que esse novo sistema será considerado por ele para definir o movimento de corpos que atraem um ao outro.

A distinção entre o construto matemático, no qual as Leis de Kepler são válidas e o mundo físico, na qual essas leis são hipóteses, é uma das características fundamentais do “estilo newtoniano” e representa um dos pilares do sistema de

que os arcos, cordas e tangentes tendiam a coincidir entre si por aproximação entre os extremos de tais linhas” (TEIXEIRA et al., 2010, p. 239). Um outro exemplo, também analisado anteriormente, se refere ao estudo da interação mútua realizada a partir da interação entre Júpiter e Saturno. Desse estudo, foi possível concluir que a interação entre os planetas e o sol, apesar de envolver uma força muito grande, pode ser ignorada, no entanto o mesmo não deve ser aplicado na análise entre a conjunção entre Júpiter e Saturno (NEWTON, 1999, 2005).

⁶⁵ Estágio dois do “estilo newtoniano”, em que o primeiro estágio revisado gerou um centro de atração que não é mais um ponto matemático, mas sim um segundo corpo. Contudo, deve-se observar que os dois “corpos” ainda não são corpos físicos “reais”, mas são apenas entidades matemáticas no espaço euclidiano (COHEN, 1999).

⁶⁶ Como cada planeta atrai o sol, o mesmo é um centro de atração, ao em vez de um corpo atraído, portanto cada um dos planetas deveria também atrair e ser atraído por cada um dos outros planetas. Para Cohen (1983), essa transformação levou Newton à ideia de uma força solar e de uma força mútua, ou seja, a uma concepção de forças mútuas planetárias-solares e forças mútuas interplanetárias.

mundo de Newton (COHEN, 1988, 1999). Tal distinção leva-o a afirmar que o sistema matemático que define uma órbita elíptica não é suficiente para descrever, de maneira precisa e verdadeira, o mundo físico. Portanto, no mundo físico é preciso levar em consideração as interações mútuas entre os corpos que modificam as Leis de Kepler. Em outros termos, as Leis de Kepler são válidas em uma construção matemática idealizada em que pontos de massa, que não interagem entre si, descrevem uma órbita em torno de um centro matemático de força, ou de um corpo atrativo central fixo (COHEN, 1983).

A dedução matemática da lei da Gravitação Universal de Newton apresenta duas restrições para além das construções matemáticas submetidas a aproximações (SMITH, 2002). Primeiro, ao deduzir alguma característica da força gravitacional no Livro I, Newton utiliza a força lógica “se-então” da proposição para deduzir e realizar aproximações, desde que a proposição anterior mantenha o “*quam proxime*”. Essa primeira restrição pode ser observada a partir dos corolários da Proposição III⁶⁷, Livro I, em que Newton descreve como a força no corpo orbital é pelo menos quase centrípeta, isto é, aproximadamente, desde que as áreas varridas em tempos iguais permaneçam quase iguais.

COROLÁRIO 2. E se as áreas forem quase proporcionais aos tempos, a força restante tenderá ao corpo T muito próximo.

COROLÁRIO 3. E, inversamente, se a força restante tender muito próximo ao corpo T, as áreas serão quase proporcionais aos tempos. (NEWTON, 1999, p. 448/449, tradução nossa).

Na concepção de Smith (2002), isso explica o porquê Newton não deduziu a Lei do inverso do quadrado a partir da elipse exata de Kepler. Nas palavras do próprio Smith:

[...] graças a essa restrição, a menos que suas leis do movimento estejam seriamente erradas, a lei da gravidade de Newton é definitivamente verdadeira, pelo menos ‘quam proxime’ dos movimentos celestes ao longo do século de observações de Tycho aos *Principia* (SMITH, 2002, p. 156).

Deduzir características dos resultados matemáticos estabelecidos no Livro I permite que sejam reconhecidas condições sobre as quais o mundo físico pode ser representado de maneira exata, não apenas como aproximações do mundo real. Por

⁶⁷ Ver página 37 da seção anterior.

exemplo, o corpo em órbita curvilínea varre áreas iguais em tempos iguais quando são submetidos apenas à força centrípeta, e sua linha apside seria estacionária se atuam sobre esse corpo apenas forças centrípetas que variam com o inverso do quadrado da distância (SMITH, 2002). O que pode ser observado em uma passagem da Proposição XIII, Livro III: “se o sol estivesse em repouso, e os demais planetas não agirem uns sobre os outros, suas órbitas seriam elípticas, tendo o sol em seu foco comum [...]” (NEWTON, 1999, p. 817-818, tradução nossa).

A imprecisão não era a maior dificuldade enfrentada por Newton (SMITH, 2002). O processo de interação entre os corpos representa o maior desafio. Tendo em vista, assim como descrito anteriormente a partir de uma passagem do *De motu*, que por conta da interação mútua entre os corpos celestes, os planetas não se movem exatamente em órbitas elípticas, nem se movem duas vezes em torno de uma mesma órbita (COHEN, 1983; 1988; 1999). Em vista disso, levar em consideração todas as interações e os movimentos que são gerados “[...] por leis exatas que admitem cálculos fáceis excede, se não me engano, a força de qualquer mente humana.” (NEWTON apud COHEN, 1988, p. 295/296). Nessa circunstância, as Leis de Kepler só são válidas dentro de um cenário de aproximação do mundo físico, não por falta de imprecisão nas observações, mas pela complexidade dos movimentos planetários⁶⁸ (SMITH, 2002).

Ao reconhecer que o mundo empírico não é capaz de realizar respostas exatas sobre o mundo físico, Newton parte de simples casos idealizados (estágio um) para progressivamente incluir outros casos mais complicados, também idealizados (estágio dois). Posteriormente, em um movimento oposto, analisou casos complexos para provar os mais simples (SAPUNARU, 2008).

O conceito de força centrípeta, que se transformou na força atrativa responsável por desviar os corpos celestes de sua tendência de se movimentar indefinidamente em linha reta, desenvolvida ao longo do Livro I, expressa muito bem essa ideia. No primeiro momento Newton trabalhou com o problema de corpo único, que se aplica de maneira exata às Leis de Kepler. Na sequência, o problema de “dois corpos”, que envolve a terceira lei. Por último, Newton analisou os problemas com três e mais corpos em interação e obteve apenas resultados qualitativos

⁶⁸ De acordo com Smith (2002), Galileu e Descartes já haviam concluído que os movimentos reais dos planetas são complexos.

limitados, mas capazes de mostrar que as Leis de Kepler só são válidas em uma descrição aproximada no mundo real (SMITH, 2002).

No Livro III, o conceito da força centrípeta foi desenvolvido do ponto de vista físico. Para Smith (2002), uma força do ponto de vista físico é caracterizada por suas "proporções físicas" e sua "espécie física". Portanto, forças que possuem a mesma natureza física são caracterizadas pela mesma lei. Newton demonstra isso na Proposição IV, Livro III, assim expressa o modelo indutivo, isto é, descreve que é possível inferir de certas causas e consequências que todas as causas parecidas ou iguais terão as mesmas consequências⁶⁹.

A expressão "*if-quam proxime-then-quam proxime*", que forma a base lógica do "estilo newtoniano", declara que os fenômenos são generalizações específicas que se aproximam da realidade física (SMITH, 2002). Ainda segundo Smith (2002), a lei de uma força deduzida dos fenômenos é uma maneira de limitar o risco de teorizar completamente a "generalização indutiva". Em outras palavras, uma determinada teoria possui condições pela qual ela pode ser generalizada, isto é, existem circunstâncias específicas sobre as quais os fenômenos partem de contextos específicos para o universal. Portanto, a lei de uma força deduzida dos fenômenos pode não se adequar a generalização indutiva mesmo contendo o "*quam proxime*" das observações (SMITH, 2002).

A Regra III expressa a preocupação de Newton com o método indutivo.

Regra III. As qualidades dos corpos que não podem ser intencionadas e remetidas [isto é, qualidades que não podem ser aumentadas e diminuídas] e pertencem a todos os corpos nos quais as experiências podem ser feitas devem ser consideradas como qualidades de todos os corpos universalmente. (NEWTON, 1999, p. 795, tradução nossa).

Em outros termos, essa passagem descreve condições pelas quais conclusões derivadas de experiências e experimentos podem ser generalizadas para situações aos quais nosso intelecto não seja capaz de observar. Portanto, uma teoria possui condições específicas pelas quais pode ser generalizada, isto é, condições sobre as quais os fenômenos partem de contextos específicos para o universal, a partir das observações disponíveis.

⁶⁹ Para uma discussão sobre as limitações da gravitação newtoniana ver Daniel (2011, p. 189-222).

De acordo com a Regra IV,

Na filosofia experimental, proposições coletadas de fenômenos por indução devem ser consideradas exatamente ou quase verdadeiras, apesar de hipóteses contrárias, até que outros fenômenos tornem tais proposições mais exatas ou sujeitas a exceções. (NEWTON, 1999, p. 797, tradução nossa).

A referida regra deve ser seguida para que conclusões alcançadas por indução não sejam anuladas por hipóteses⁷⁰. Apesar disso, o estudo das propriedades de vários movimentos em condições específicas embasou-se na matemática, “e não na experimentação e na indução.” (COHEN, 2002, p. 172).

Mesmo com as restrições descritas anteriormente, a dedução da Gravitação Universal ou qualquer outra lei de força, a partir de fenômenos que contém o “*quam proxime*”, mostra que no máximo ela é uma aproximação do mundo real. Todavia, quando as restrições são atendidas, como no caso da Lei da Gravitação Universal de Newton, essas leis são tomadas, mesmo de maneira provisória como exatas⁷¹ (SMITH, 2002). Segundo Cohen, “A chave do pensamento criativo de Newton em mecânica celeste não foi considerar que as forças fossem propriedades reais [...], mas que pudesse examinar as condições e propriedades de tais forças como se fossem reais” (COHEN, 1983, p. 276).

O Livro III apresenta uma série de aplicações da Gravitação Universal: marés; variação da gravidade com a latitude; movimentos dos corpos terrestres, dos planetas etc., que representa um estudo suplementar aquém das características do “estilo newtoniano” (COHEN, 2002). Segundo Smith (2002), o estudo desses fenômenos é uma característica do processo de generalização que levou Newton a desenvolver a Gravitação Universal. Entretanto, um século depois após a publicação da primeira versão do *Principia* o argumento para justificar como os corpos interagem à distância não era entendido. Mesmo assim, o método pelo qual uma teoria matemática genérica, que dialoga na perspectiva matemática e física, tornou-se a base da ciência física⁷² (COHEN, 1983, 1988, 1999, 2002; SMITH, 2002).

⁷⁰ Na *Óptica* Newton reconhece o risco das generalizações indutivas. (COHEN; WESTFALL, 2002).

⁷¹ As *Regras* da Filosofia Natural, assim como os *Fenômenos*, são fundamentais na constituição de uma gravidade universal.

⁷² Apesar de ter uma estrutura semelhante ao *Principia*, no *Óptica* o procedimento de Newton na Filosofia natural experimental diverge do método utilizado ao longo do *Principia* (COHEN; WESTFALL, 2002).

[...] Newton escapou das complexidades de estudar a natureza em si. Partiu de uma versão idealizada da natureza, na qual algumas leis descritivas das posições e velocidades observadas – as leis planetárias de Kepler – aplicavam-se com exatidão. Depois, com base nas leis e princípios subjacentes a essas leis descritivas, Newton passou para novos constructos e para leis e princípios subjacentes mais gerais. Acabou chegando à lei da gravitação universal, em um novo sistema em que as três leis planetárias originais, tal como formuladas por Kepler, são – estritamente falando – falsas (COHEN, 2002, p. 181).

Ao matematizar o mundo físico, Newton alcançou resultados capazes de explicar o sistema de mundo, a partir de contas matemáticas que se aproximam da descrição real do universo, que, porém, não refletem o mundo como ele realmente é. Logo, a partir de uma postura instrumentalista, Newton utilizou a Terceira Lei de Kepler, “válida apenas por aproximação na dinâmica celeste” (TEIXEIRA et al., 2010, p. 241), para mostrar que a força de atração mútua que atua na lua e na Terra, também atua entre o sol e todos os planetas e atrai os corpos na superfície da Terra (COHEN, 1988). O conceito de força expressa a postura instrumentalista de Newton, que ao ser tratada de maneira matemática foi aplicada para resolver problemas do mundo físico (COHEN, 1983; SMITH, 2002).

Portanto, embasado por um método matemático de simplificação do mundo físico, Newton realizou a separação entre problemas do mundo da matemática e do mundo da física. Por conseguinte, tratou do movimento de corpos que interagem entre si de maneira puramente matemática, característica fundamental para o desenvolvimento de seu sistema de mundo, uma atitude revolucionária da dinâmica celeste proposta por Newton (COHEN, 1983, 1988, 1999; WESTFALL, 1995). O sistema newtoniano de mundo é amparado em fenômenos e nas idealizações matemáticas da natureza, “vistos como equivalentes aproximados das condições do mundo externo, mas não idênticos a elas.” (COHEN, 2002, p. 180).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE FÍSICA

Ao longo desse artigo, desenvolvemos uma reconstrução histórica dos argumentos originais utilizados por Newton no desenvolvimento da Terceira Lei e do conceito de interação mútua presente na Gravitação Universal, com vistas a ser aplicada didaticamente em cursos de graduação. Discutir de maneira proeminente caminhos pelos quais é possível inserir o uso didático da História das Ciências no

Ensino de Física⁷³, não é objetivo nosso. Entretanto, a partir de agora pretende-se discutir algumas possíveis contribuições que essa reconstrução histórica pode trazer para os professores que almejam abordar a Gravitação Universal de Newton em suas aulas.

O artigo evidenciou como Newton, embasado por um método matemático de simplificação do mundo físico, tratou do movimento de corpos que interagem entre si de maneira matemática. Dessa forma, mostrou como a força centrípeta se transformou na força atrativa responsável por desviar os corpos celestes de sua tendência de se movimentar indefinidamente em linha reta para se manter em uma órbita estável ao redor de um centro comum. Conseqüentemente, assim como dois corpos se atraem mutuamente, de acordo com a Terceira Lei de Newton, em um sistema formado por vários corpos, cada corpo tanto atrai todos os outros assim como é por todos atraído simultaneamente.

Portanto, uma primeira contribuição de nosso artigo se refere à possibilidade de contribuir para um debate que pode auxiliar na compreensão do método utilizado por Newton para estabelecer a Gravitação Universal, mas também no entendimento conceitual sobre a interação entre corpos. Em particular, destaca-se o papel desse artigo para o Ensino de Física, em especial para o ensino da Gravitação Universal de Newton, já que a Terceira Lei é utilizada para explicar de maneira superficial o conceito de interação mútua presente na Gravitação Universal newtoniana, sem uma discussão detalhada sobre o método usado por Newton para dar significado à interação mútua, como uma força proporcional para a massa de ambos os corpos e que atua de maneira simultânea (TEIXEIRA et al., 2010).

Um segundo aspecto, é a possibilidade de utilizar a reconstrução histórica para a promoção da argumentação em sala de aula. O uso didático de uma abordagem histórica é frequentemente apontado como uma estratégia capaz de criar um ambiente profícuo para o desenvolvimento da argumentação (ADÚRIZ-BRAVO, 2014; ARCHILA, 2015; ARCHILA; MOLINA; MEJÍA, 2018; MATTHEWS, 2014; TEIXEIRA, 2010; ZEMPLÉN, 2011;), tendo em vista que a História das Ciências possibilita a criação de um ambiente pelo qual os estudantes são levados a defender posições a respeito de assuntos científicos. Prática comum nos debates que dão origem às teorias e conceitos científicos. Dessa maneira, o uso didático dessa

⁷³ Para uma discussão pormenorizada sobre a inserção da HC no EF, ver Teixeira (2012b) e Silva (2018).

reconstrução histórica pode favorecer um debate conceitual e gerar um ambiente pelo qual os estudantes são levados a argumentar sobre o conceito de interação mútua presente na Gravitação Universal de Newton.

Consoante com Teixeira et al. (2010), esse artigo também pode ser propício em tornar explícito como Newton desenvolveu seu trabalho a partir da contribuição de outros estudiosos. Assim, gerar uma compreensão do caráter social do desenvolvimento científico e não reforçar o papel do gênio, assim como é comumente divulgado em alguns livros didáticos (TEIXEIRA et al., 2010). Portanto, a reconstrução histórica pode contribuir para que algumas características fundamentais a respeito das ciências sejam evidenciadas, com o objetivo de desenvolver uma concepção crítica sobre a natureza das ciências frente aos estudantes (GIL-PÉREZ et al., 2001; MACÊDO, 2015).

A falta de professores com formação adequada para ensinar física a partir de uma abordagem histórica é um dos principais desafios apontados pela literatura especializada (FORATO, 2009; MARTINS, 2007; MARTINS, 2006; ROSA, 2006; SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018), para que a abordagem histórica possa desempenhar um papel de destaque no ensino de ciências. Diante disso, uma última contribuição se refere à formação de professores. Acreditamos que a discussão realizada nas seções anteriores seja capaz de contribuir para a inclusão da abordagem histórica nos cursos de formação inicial e continuada de professores de física. O contato com as questões históricas que envolvem o desenvolvimento do conceito de interação mútua presente na Gravitação Universal pode influenciar, tanto para um melhor entendimento sobre esses conceitos, quanto para uma mudança de postura dos docentes frente a estratégias de ensino voltadas para utilizar a História das Ciências durante sua práxis pedagógica (SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018).

Por fim, esperamos que este artigo possa oferecer subsídios e contribuir para efetivar o uso da abordagem histórica no Ensino de Física. Assim, defendemos que essa reconstrução histórica possa ser adotada, e/ou adaptada, para diferentes contextos de ensino. Ademais, para que a História das Ciências possa ser cada vez mais utilizada no Ensino de Física, este tipo de material didático, desenvolvido a partir de fontes primárias e do trabalho de pesquisadores especializados, precisa sair dos muros da pesquisa acadêmica e alcançar os professores.

REFERÊNCIAS

ABI-EL-MONA, Issam; ABD-EL-KHALICK, Fouad. Argumentative Discourse in a High School Chemistry Classroom. **School Science and Mathematics**, v. 106, n. 8, p. 349-361, 2006.

ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. Revisiting school scientific argumentation from the perspective of the history and philosophy of science. *In*: MATTHEWS, Michael R. (ED.) **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, 2014. p. 1443–1472.

ARCHILA, Pablo Antonio. Using History and Philosophy of Science to Promote Students' Argumentation: A Teaching–Learning Sequence Based on the Discovery of Oxygen. **Science & Education**, v. 24, p. 1201–1226, 2015.

ARCHILA, Pablo Antonio; MOLINA, Jorge; MEJÍA, Anne-Marie Truscott de. Using formative assessment to promote argumentation in a university bilingual science course. **International Journal of Science Education**, 40, p. 1669–1695, 2018.

BOSS, Sergio Luiz Bragatto. Considerações sobre a produção e o uso de material histórico em sala de aula: dificuldades de leitura e entendimento de traduções de fontes primárias. *In*: CAMARGO, Sérgio. (Org.). **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**. 1 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. p. 161-174.

CHIBENI, Silvio Seno. As posições de Newton, Locke e Berkeley sobre a natureza da gravitação. *Scientiae Studia (USP)*, v. 11, p. 33-55, 2013.

COHEN, Jerome Bernard. **La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas**. Tradução: Carlos Solís Santos. Madrid: Alianza Editorial, 1983. 425p.

_____. **O nascimento de uma nova Física**. Tradução: Maria Alice Gomes da Costa. Lisboa: Gradiva, 1988. 305p.

_____. O método de Newton e o estilo de Newton. *In*: COHEN, Jerome Bernard; WESTFALL, Richard S. (Eds.) **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Rio de Janeiro: Contraponto, EDUERJ, 2002.

CUSHING, James T. Kepler's Laws and Universal Gravitation in Newton's Principia. **American Journal of Physics**, v. 50, n. 7, p. 617-628, 1982.

DANIEL, Gilmar Praxedes. **História da Ciência em um Curso de Licenciatura em Física: a Gravitação Newtoniana e a Gravitação Einsteiniana como Exemplos**. 404f. 2011. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011.

DENSMORE, Dana. **Newton's Principia: the central argument**. Santa Fe, NM: Green Lion Press, 1995. 425 p.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz.** 2009. 220f (Volume 1) Tese (Doutorado em Educação) Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FREIRE-JÚNIOR, Olival. A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências. *In: SILVA Filho, Waldomiro J. (org.). **Epistemologia e Ensino de Ciências.*** Salvador: Arcádia, 2002. p. 13-30.

GALILEI, Galileu. **Dois novas ciências.** Tradução: MARICONDA, Pablo Rubén. São Paulo: Nova Stella, 1988 [1638].

GIL-PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernández; ALÍIS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 125 - 154, 2001.

GUERRA, Andreia. A identidade e o diálogo como possibilidade de superação da controvérsia entre educadores e historiadores da ciência. *In: Camargo, Sergio; GENOVESE, Luiz Gonzaga; DRUMMOND, Juliana Hidalgo; QUEIROZ, Glória Regina; NICOT, Yuri; NASCIMENTO, Sylvania Sousa do. (Orgs.). **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física.*** 1ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. p. 129-142.

HENRY, Jonh. **Isaac Newton y el problema de la acción a distancia.** *Estud.filos*, nº 35, Universidad de Antioquia, p. 189-226, 2007.

HÖTTECHE, Dietmar; SILVA, Cibelle Celestino. Why implementing history and philosophy in school Science education is a challenge: an analysis of obstacles. **Science & Education**, v. 20, p. 293–316, 2011.

KOYRE, Alexandre. O significado da síntese newtoniana. *In: COHEN, Jerome Bernard; WESTFALL, Richard S. (Eds.). **Newton: textos, antecedentes, comentários.*** Trad. Por Vera Ribeiro: Rio de Janeiro: EdUERJ/Contraponto, 2002. p. 84-100.

MACÊDO, Ricardo Silva de. **O Ensino de Ciências por Investigação e a Prática Pedagógica de Professores Licenciados no IF-UFBA.** 361f. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2015.

MARTINS, André Ferrer Pinto. História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis*, v. 24, n. 1, p. 112-131, abr. 2007.

MARTINS, Roberto de Andrade. A História das Ciências e seus usos na educação. *In: SILVA, Cibelle Celestino. (Org). **Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino.*** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. Introdução.

MATTHEWS, Michael R. **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching.** New York - London: Springer, v. I, II e III, 2014.

NEWTON, Isaac. **The principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy**. Trad. COHEN, Jerome Bernard; WHITMAN, Anne Berkeley, University of California Press, 1999.

_____. Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural. *In*: HAWKING, Stephen William. **Os Gênios da Ciência: sobre os Ombros de Gigantes**. (Org.) Tradução: Sergio M. Dutra. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. p. 441-638.

_____. **Principia**: princípios matemáticos de filosofia natural - Livro II e III e O sistema do mundo. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica 1**. Mecânica. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. 519p.

PEDUZZI; Luiz Orlando de Quadro. A Física Aristotélica. *In*: **Força e movimento: de Thales a Galileu**. Coleção Evolução dos Conceitos da Física. Publicação interna. Florianópolis, SC: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015 (revisado em julho de 2019). 197 p, cap. 2, p. 39-50. Disponível em: <www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br>. Acesso em: 19 set. 2019.

PORTO, Claudio Maia. A história do problema das colisões na física do século XVII anterior a Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física (Online)**, v. 42, p. 1-19, 2020.

ROSA, Katemari. **A inserção de história da ciência na formação de professores de física**: as experiências da UFBA/UFGRS. 200f. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2006.

SAPUNARU, Raquel Anna. A construção lógica do “estilo newtoniano”. **Ciência e Educação (UNESP)**, v. 14, p. 55-66, 2008.

SERWAY, Raymond A; JEWETT, John W. **Princípios de física**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 4 v, 2017.

SILVA, Eider de Souza; TEIXEIRA, Elder Sales; PENIDO, Maria Cristina Martins. Análise de propostas didáticas de física orientadas por abordagens históricas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 766-804, dez. 2018.

SMITH, George E. The methodology of the *Principia*. *In*: COHEN, Jerome Bernard; SMITH, George E. (Eds.). **The Cambridge Companion to Newton**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. p. 138-173.

TEIXEIRA, Elder Sales; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro; FREIRE-JÚNIOR, Olival. Os Caminhos de Newton para a Gravitação Universal: Uma Revisão do Debate Historiográfico entre Cohen e Westfall. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 215-254, 2010b.

WESTFALL, Richard S. **Force in Newton's Physics**. London: MacDonald; New York: American Elsevier, 1971.

_____. **A vida de Isaac Newton**. Tradução: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

ZEMPLÉN, Gabor A. **History of science and argumentation in science education**: joining forces? In: KOKKOTAS, P. V.; MALAMITSA, K. S. e RIKAKI, A. A. (Eds.). *Adapting historical knowledge production to the classroom*. Rotterdam: Sense Publishers, 2011. p. 129-140.

**CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DE UMA PROPOSTA DE ENSINO VOLTADA PARA O
DESENVOLVIMENTO DA HABILIDADE DE CONSTRUIR ARGUMENTOS NO
ENSINO DE FÍSICA**

ANÁLISE DE UMA PROPOSTA DE ENSINO VOLTADA PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABILIDADE DE CONSTRUIR ARGUMENTOS NO ENSINO DE FÍSICA

RESUMO: O objetivo deste artigo é investigar como uma proposta de ensino, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação, pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton, de estudantes do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública do interior da Bahia. O padrão de argumento de Toulmin (2006) foi adotado como modelo para a construção de argumentos e como referencial teórico de análise. Os dados foram coletados por meio da gravação, em vídeo, das interações entre os estudantes durante as atividades em pequenos grupos e das discussões entre os grupos mediadas pelo professor. A coleta também ocorreu a partir do registro em diário de bordo das descrições e reflexões das atividades realizadas ao longo da disciplina e dos argumentos escritos produzidos pelos estudantes. A análise dos argumentos desenvolvidos pelos estudantes permite depreender que o ensino explícito da argumentação, associado com o tempo de duração da intervenção, que ocorreu ao longo de todo um semestre, favoreceu o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton.

Palavras-chave: Argumentação; Ensino Explícito; Ensino de Física; Formação de professores.

1. INTRODUÇÃO

O número de pesquisas sobre argumentação científica aumentou desde meados dos anos 90 (HAMALOSMANOGLU; VARINLIOGLU, 2019). Essas pesquisas têm defendido a argumentação como uma estratégia importante para o processo de ensino e a aprendizagem sobre ciências (ARCHILA; MOLINA; MEJÍA, 2018; DRIVER et al., 2017; OSBORNE, 2000; TEIXEIRA, 2010; ZEMPLÉN, 2011), haja vista que aprender sobre ciências, enquanto um processo social que ocorre a partir da interação com outros sujeitos, é sobretudo se apropriar do discurso científico (KUHN, 1993; LEMKE, 2000). Contudo, lidar com os benefícios de um ensino de ciências fundamentado pela argumentação envolve enfrentar alguns desafios, como: (1) a falta de conhecimento pedagógico dos professores para trabalhar com argumentação; e (2) a escassez de oportunidades dadas para os estudantes se envolverem em atividades argumentativas em sala de aula (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000; IBRAIM, 2018).

O ensino explícito sobre como construir argumentos, apesar de não ser sinônimo de garantia do desenvolvimento de argumentos de boa qualidade (MURPHY et al., 2018), é reiteradamente descrita como uma estratégia importante para o desenvolvimento de práticas argumentativas no ensino de ciências (ARCHILA; MOLINA; MEJÍA, 2018; DAWSON; VENVILLE, 2010; OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004; SANTOS, 2017; ZOHAR; NEMET, 2002). Diante disso, o ensino explícito da argumentação é apontado como possível solução para a dificuldade dos estudantes de argumentar sobre ciências em diferentes contextos da educação científica (KUHN, 1993; OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004; SANTOS, 2017; ZEMPLÉN, 2011).

Ademais, o ensino explícito da argumentação favorece o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre ciências apoiados por conhecimento científico (IBRAIM; JUSTI, 2017; MCNEILL; KNIGHT, 2013; SANTOS, 2017). Para mais, oportuniza aos futuros professores a possibilidade de refletir e adquirir competências pedagógicas para ensinar ciências a partir da argumentação (IBRAIM, 2018; SIMON; ERDURAN; OSBORNE, 2006; ZEMPLÉN, 2011). Nesse contexto, pesquisadores da área de ensino de ciências defendem a necessidade da realização de mais pesquisas que investiguem estratégias que ensinem o estudante a construir argumentos no ensino superior (ABI-EL-MONA; ABD-EL-KHALICK, 2006; MCNEILL et al., 2017; TEIXEIRA, 2010a;).

Dentro dessa perspectiva, o objetivo deste artigo é investigar como uma proposta de ensino, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação, pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton, de estudantes do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana. A proposta de ensino foi aplicada e avaliada na disciplina de História da Física e Ensino I, do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública localizada no interior da Bahia. A ementa da disciplina trabalha os conceitos da física a partir de uma perspectiva histórica, desde as ideias gregas até a mecânica newtoniana.

A abordagem histórica é outra característica da proposta de ensino. O uso didático da História das Ciências cria condições para a ocorrência de controvérsias e possibilita a criação de um ambiente no qual os estudantes são levados a defender

posições a respeito de assuntos científicos (ADÚRIZ-BRAVO, 2014; ARCHILA, 2015; ARCHILA; MOLINA; MEJÍA, 2018; MATTHEWS, 2014; SANTOS, 2017; TEIXEIRA, 2010; ZEMPLÉN, 2011). À vista disso, pode possibilitar uma compreensão com relação ao fazer científico e evidenciar o processo social de construção das ciências (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000). Embora essas duas características estejam relacionadas, em função do escopo do trabalho e da dificuldade de inferir a respeito das contribuições do uso didático da História das Ciências para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton, apenas a contribuição do ensino explícito será interesse de investigação deste artigo.

2. QUADRO TEÓRICO

O desenvolvimento do pensamento científico, enquanto um objetivo para o ensino de ciências, envolve o uso da linguagem como um aspecto fundamental na aprendizagem de conceitos científicos (VIEIRA; NASCIMENTO, 2009). Nesse contexto, a argumentação, como uma estratégia para proferir um discurso por meio de uma linguagem, é uma técnica compatível com o gênero discursivo das ciências (KUHN, 1993; LEMKE, 2000). Portanto, o ensino explícito da argumentação é fundamental como uma estratégia capaz de desenvolver a habilidade de construir argumentos sobre ciências, como uma estrutura que deve ser entendida e compartilhada por todos os sujeitos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem (OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004).

Nesse contexto, entendemos que a aprendizagem é a internalização de conceitos compartilhados socialmente, que ocorrem por intermédio da linguagem. Assim, a linguagem, como um sistema articulado de signos, com destaque especial para a palavra, é fundamental para o processo de aprendizagem de conceitos científicos (VYGOTSKY, 2001). Sendo assim, a produção de conhecimento a partir do uso da linguagem se conecta com o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos, pois a elaboração de argumentos se desenvolve a partir da interação social mediada pela linguagem. Além do mais, aprender ciências envolve aprender a falar de ciências (LEMKE, 2000).

Para que os sujeitos possam interagir socialmente e se desenvolver por intermédio de processos argumentativos, mediados pela linguagem, é preciso que oportunidades sejam criadas (MENDONÇA; JUSTI, 2013). Em nosso estudo, foram adotadas as atividades em pequenos grupos e entre grupos com mediação do professor, como meio de favorecer a ocorrência de processos de interações pelas quais os estudantes foram estimulados a partilhar conhecimento para engajar-se na construção coletiva de argumentos (TEIXEIRA et al., 2010; SANTOS, 2017). A discussão em pequenos grupos busca evidenciar a construção coletiva do conhecimento científico, bem como destacar como as interações sociais permeiam a construção de argumentos científicos. Ademais, é por intermédio de negociações e disputas, que os sujeitos constroem conhecimento (VYGOTSKY, 2001).

A partir da discussão entre os grupos com mediação do professor, os alunos podem desenvolver competências e aprender conceitos científicos. Isso ocorre a partir da colaboração com sujeitos mais experientes e em interação com o meio social (VYGOTSKY, 2001). Esse tipo de atividade enriquece a discussão e possibilita o envolvimento dos estudantes em interações argumentativas e na construção de argumentos científicos (ARCHILA, 2015; RUIZ-ORTEGA; ALZATE; BARGALLÓ, 2012).

O professor, enquanto agente experiente, que conhece o conteúdo trabalhado, possui um papel fundamental para promover o desenvolvimento de habilidades e competências no ensino de ciências orientado pela argumentação. Assim, durante as atividades entre grupos o professor deve ser capaz de: (1) proporcionar situações discursivas a partir do acesso a informações sobre a temática; (2) estimular e mediar o processo de discussão e desenvolvimento da argumentação, assim contribuir para que as situações discursivas em sala de aula sejam argumentativas e levem os estudantes à construção de argumentos; e (3) resolver conflitos e sistematizar o resultado final da discussão a partir do discurso científico (IBRAIM, 2018; MORTIMER; SCOTT, 2002; VIEIRA; NASCIMENTO, 2009; ZEMPLÉN, 2011).

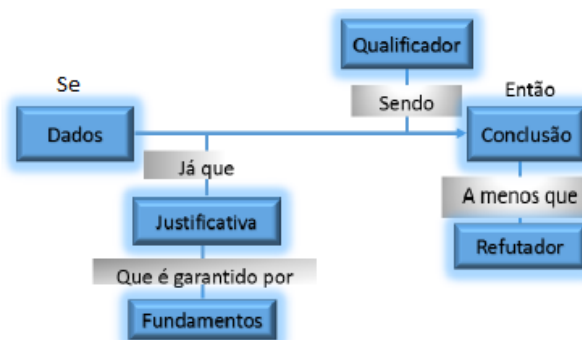
2.1 ARGUMENTAÇÃO E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Argumentação lógica, retórica e dialógica são vertentes da argumentação, que se conectam e aparecem, em maior ou menor grau, dentro de práticas

argumentativas¹. Cada uma delas é utilizada em função da natureza da argumentação e pelas circunstâncias pela qual o argumento se desenvolve: convencer ou se fazer entendido por um oponente ou uma plateia (SANTOS, 2017). Desse modo, reconhecemos que a argumentação não é um modelo de discurso puramente retórico, dialógico ou lógico, ela é “triforce” e engloba, portanto, essas três perspectivas.

Em concordância com os objetivos do trabalho, o modelo de argumento de Toulmin (2006) foi utilizado para avaliar o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos dos estudantes ao longo da proposta de ensino (Figura 1). Dessa maneira, o interesse desse estudo está voltado para a vertente lógica da argumentação, isto é, para o processo de identificar e avaliar o papel dos elementos constitutivos do argumento, a relação entre eles, o conteúdo científico e o contexto teórico em que são construídos².

Figura 1- Modelo de argumento de Toulmin (2006).



Fonte: Adaptada de Santos (2017, p. 53).

O modelo de argumento de Toulmin (2006) foi adotado como um modelo adequado para construir argumentos sobre ciências, tendo em vista que a forma com que os elementos se relacionam adequa-se à maneira pela qual os cientistas argumentam ao desenvolver teorias e explicações sobre o mundo natural (ADÚRIZ-BRAVO, 2014; SIMON; ERDURAN; OSBORNE, 2006). Portanto, reconhecemos o modelo de Toulmin como sendo compatível ao gênero discursivo das ciências, isto

¹ A argumentação também ocorre de maneira não oral, por exemplo nos trabalhos publicados em periódicos científicos. Esses trabalhos são resultados de um processo argumentativo realizado para justificar e fundamentar uma tese a partir do diálogo com diferentes fontes de conhecimento, bem como de um discurso interno exercido pelo pesquisador.

² Toulmin propôs um modelo lógico que se opõe ao silogismo como paradigma universal de argumentação. Para uma análise pormenorizada de como Toulmin desenvolveu seu modelo a partir de uma crítica ao silogismo, ver Teixeira, Greca e FreireJúnior. (2015, p. 206-212).

é, que leva em consideração o uso de evidências e justificativas, apoiadas em fundamentos científicos, para construir argumentos sobre ciências.

Levando em consideração os pressupostos teóricos que subsidiam esse estudo, entendemos por habilidade de construir argumentos como: habilidade de construir e pronunciar conclusões científicas, a partir dos dados apresentados, de forma sustentada em justificativas que são fundamentadas no conhecimento científico partilhado e considerando também as condições limitantes e as situações de exceção acerca de tais conclusões. Um processo argumentativo é o modo pelo qual os alunos, de maneira individual ou coletiva, buscam relacionar dados, justificativas, fundamentos, qualificador e refutador para apoiar uma conclusão. Esse processo é permeado por pontos de vistas divergentes que favorecem a discussão e o engajamento dos estudantes em interações argumentativas. O argumento é definido como o produto, isto é, é o resultado da articulação funcional entre dados, justificativas, fundamentos, qualificador e refutador para apoiar uma conclusão acerca de um problema específico (EL-MONA; ABD-KHALICK, 2006; SAMPSON; CLARK, 2008).

Um episódio argumentativo é um evento, definido em um intervalo de tempo, em que ocorreu a construção individual ou coletiva de um argumento, que, no mínimo, envolve uma conclusão, que pretende responder a um problema, apoiada em dado e justificativa. Atividades pró-argumentativas são todo e qualquer tipo de atividade que possibilita uma interação discursiva que gera uma oportunidade para a construção, de maneira individual ou coletiva, de argumentos.

Adotamos, também, o conceito de perguntas pró-argumentativas, que são caracterizadas pela sua capacidade de promover uma interação discursiva, de estimular a discussão, fomentar a reflexão pelos estudantes sobre o tema e possibilitar a construção de argumentos. Em outros termos, trata-se de perguntas que possibilitam que os alunos falem sobre determinado fenômeno natural, envolvam-se em processos argumentativos e estabeleçam dados, justificativas, fundamento, qualificador e refutador para apoiar a conclusão de um argumento.

Diante das definições descritas acima, estabelecemos algumas perguntas capazes de favorecer a ocorrência de interações argumentativas e, conseqüentemente, relacionar as respostas dos alunos com os elementos que

compõem o modelo de argumento de Toulmin (2006), a saber: Como? (**Conclusão**); Parte de onde? (**Dados**); Por que? (**Justificativa**); Baseado em qual ideia teórica? (**Fundamento**); Qual o grau de certeza você aplica à sua conclusão? (**Qualificador**); Existe alguma condição de exceção que negue essa conclusão? (**Refutador**). Ademais, adotamos critérios marcadores para identificar os elementos do modelo de Toulmin nas falas dos estudantes: Se (**Dados**); Então (**Conclusão**), Já que (**Justificativa**), Que é garantido (**Fundamento**); Sendo (**Qualificador**); A menos que (**Refutador**) (Figura 1).

3. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo estabelecido, adotamos a abordagem qualitativa para nortear a realização deste estudo (LICHTMAN, 2010). Dessa maneira, nossa intenção é interpretar os argumentos produzidos pelos estudantes, com o objetivo de analisar como a proposta de ensino, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação, pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos, sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton.

Como orientação metodológica geral do artigo, utilizamos algumas concepções da *Design Research*, que se propõe a realizar o estudo sistemático do planejamento, implementação e avaliação de intervenções de ensino no ambiente da sala de aula. Com o propósito de desenvolver a proposta de ensino e possibilitar que os objetivos fossem alcançados, na pesquisa preliminar foram estabelecidos, a partir de uma revisão de literatura e dos conhecimentos dos autores, um quadro conceitual que orientou o estabelecimento dos princípios de *design* e as características que fundamentam a proposta de ensino (Quadro 1).

A proposta de ensino foi desenvolvida para ser aplicada e avaliada na disciplina de História da Física e Ensino I do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana. A disciplina é obrigatória, tem carga horária de 60h e é ofertada no 7º semestre. A ementa propõe uma reflexão e uma contextualização de conceitos da filosofia grega da natureza até a física moderna (Anexo A). Em consonância com a orientação metodológica adotada, nosso artigo apresenta o seguinte princípio de *design*: Ensino explícito da argumentação propicia melhor

habilidade de construir argumentos sobre conceitos científicos na formação inicial de professores de Física. Assim, partimos do pressuposto teórico que o ensino explícito da argumentação pode contribuir para superar algumas das dificuldades dos estudantes de argumentarem sobre ciências.

As características e os objetivos que norteiam a proposta de ensino estão descritos abaixo (Quadro 1).

Quadro 1 Características e objetivos da proposta de ensino.

Características		Objetivos	
Substantivas ³ [Razão]	Procedimentais ⁴ [Razão]	Ensino ⁵	Aprendizagem ⁶
Ensino explícito de argumentação [A apropriação da argumentação enquanto um dos gêneros discursivos das ciências, que não ocorre de maneira espontânea (KUHN, 1993; OSBORNE et al., 2004)]	Discutir a natureza argumentativa das ciências [O discurso da Ciência é argumentativo (KUHN, 1993)]	Proporcionar uma análise da argumentação enquanto gênero discursivo das ciências	Entender a argumentação enquanto gênero discursivo das ciências
	Apresentação e discussão do modelo de argumento de Toulmin [Conhecer os elementos do modelo de Toulmin, suas funções e como se relacionam]	Promover situações as quais os alunos possam utilizar o modelo de Toulmin para construir argumentos	- Utilizar o modelo de Toulmin para construir e avaliar argumentos. - Desenvolver a habilidade de construir argumentos sobre ciências com o modelo de Toulmin. - Apropriar-se do modelo de Toulmin para construir argumentos sobre ciências.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O desenvolvimento da habilidade de construir argumentos a partir do modelo de Toulmin (2006) não ocorre de maneira natural, isto é, precisa ser ensinado de forma explícita e adequada (KUHN, 1993; OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004; SANTOS, 2017). Diante do exposto, o ensino explícito de argumentação é uma característica substantiva da proposta de ensino.

³ O que minha proposta de ensino deve ter em sua essência para que os objetivos educacionais sejam alcançados? Entre colchetes aparecem as razões pelas quais escolhemos as características substantivas.

⁴ Quais atividades de ensino devem ser utilizadas diante da definição das características substantivas da proposta? Entre colchetes aparecem as razões pelas quais escolhemos as características procedimentais.

⁵ Objetivos de ensino que se pretende realizar como forma de possibilitar que os alunos desenvolvam as habilidades e competências desejadas.

⁶ O que se deseja que os estudantes desenvolvam em termos de habilidades e competências?

Assim como descrito anteriormente, partimos do pressuposto que a integração do ensino explícito da argumentação melhora o desempenho dos estudantes no engajamento em atividades argumentativas e a qualidade dos argumentos sobre ciências produzidos em sala de aula (DAWSON; VENVILLE, 2010; OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004; SANTOS, 2017; ZOHAR; NEMET, 2002). Logo, neste artigo investigamos como o ensino explícito da argumentação pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos.

O ensino explícito é caracterizado pela instrução aos estudantes de como construir argumentos segundo o modelo de Toulmin (2006), da relação entre os elementos que constituem um argumento e suas respectivas funções. Nesta perspectiva, discutir e apresentar o conhecimento científico enquanto argumentação é uma das características procedimentais relacionadas ao ensino explícito da argumentação. Ademais, os estudantes devem aplicar o modelo de Toulmin (2006) em atividades pró-argumentativas para construir argumentos ao longo de todo o processo de aplicação da proposta de ensino.

3.1 CONTEXTO DE ENSINO

Em conformidade com a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, o projeto de pesquisa que fundamenta este estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP)⁷. A anuência para participação dos estudantes na pesquisa foi concebida através de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), que versa sobre os objetivos da pesquisa, acerca da participação facultativa e das estratégias adotadas para não prejudicar os alunos, assim como garantir o anonimato destes ao longo do estudo.

Na primeira semana de aula, de posse do TCLE os alunos decidiram, de maneira consciente, se participariam ou não da pesquisa. Dos 15 (quinze) alunos inicialmente matriculados, 14 (catorze) participaram da disciplina até o final e todos aceitaram participar da pesquisa⁸. A disciplina foi ministrada no semestre 2019.1, entre os dias 19/08/2019 a 21/12/2019. Em cada semana, eram ministradas 4

⁷ Parecer de número 3.563.945.

⁸ Entre os 14 (catorze) que participaram do estudo, 6 (seis) são do sexo masculino e 8 (oito) do sexo feminino. A faixa etária varia entre 20 (vinte) e 37 (trinta e sete) anos de idade.

(quatro) aulas⁹, sempre às quintas-feiras, das 13h às 17h. Um dos autores deste trabalho exerce as funções de pesquisador e professor, enquanto o outro o de pesquisador.

O cronograma da disciplina foi apresentado na primeira semana de aula. Na segunda semana de aula, foi abordado o ensino explícito da argumentação. Nessa aula, os alunos se organizaram livremente na sala para discutir dois textos¹⁰, a partir da leitura prévia da tradução dos mesmos, que foram entregues com uma semana de antecedência¹¹. O professor iniciou a aula a partir de uma exposição dialogada sobre a natureza argumentativa das ciências, para abordar as interpretações dos estudantes sobre o texto.

Na sequência dessa aula, o professor solicitou que os estudantes descrevessem, a partir da compreensão inicial do texto, a função de cada elemento do modelo de argumento de Toulmin (2006). Após o professor elucidar as falas dos estudantes e tirar dúvidas, foi solicitado que estes aplicassem o referido modelo para responder a uma situação problema (Figura 2):

Figura 2 - Situação problema.

Uma rede de supermercado resolveu averiguar a reclamação dos seus clientes que se queixaram que as sacolas utilizadas para carregar as compras estavam rompendo em meio ao transporte das mercadorias. O gerente do supermercado designou um de seus funcionários para investigar o caso. Depois de muitos testes o funcionário concluiu que não havia nada de errado com a qualidade do material que compunha a sacola e que ela se rompia quando utilizada inadequadamente. Por que uma sacola de supermercado rasga quando utilizada de maneira inadequada?

Escreva um argumento de acordo com o layout de Toulmin para ilustrar sua resposta.

Fonte: Adaptada de Santos (2017).

O problema foi adaptado de Santos (2017), com o objetivo de fomentar uma oportunidade para os alunos aplicarem o modelo de Toulmin (2006) para construir um argumento. Para resolver o problema, os alunos se organizaram em pequenos

⁹ Ocorreram um total de 64 (sessenta e quatro) aulas ao longo da disciplina, com quatro aulas de 50 (cinquenta) minutos por semana.

¹⁰ KUHN, D. Science as Argument: Implications for Teaching and Learning Scientific Thinking. **Science Education**, v. 77, n. 3, p. 319-337, 1993; e TEIXEIRA, E. S.; FREIRE, O.; GRECA, I. La Enseñanza de la Gravitación Universal de Newton Orientada por la Historia y Filosofía de la Ciencia: Una Propuesta Didáctica con un Enfoque en la Argumentación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 33, n. 1, p. 205-223, 2015. 206-212 p.

¹¹ Todos os textos da proposta de ensino foram entregues com uma semana de antecedência, para que os alunos pudessem realizar a leitura prévia.

grupos para discutir e, posteriormente, construir um argumento coletivo para responder o problema. Ficou a critério dos alunos a formação dos pequenos grupos, que se mantiveram fixos até o final da disciplina, por orientação do professor.

A partir da terceira semana de aula, a argumentação se desenvolveu a partir da discussão histórica sobre algumas das ideias de Aristóteles. No início de cada aula – Momento 1 – após o professor fazer uma apresentação sobre o tema, os alunos se organizavam em pequenos grupos para discutir e, posteriormente, construir um argumento coletivo para responder à questão da situação problema. No decorrer da aula – Momento 2 – era solicitado que cada grupo escrevesse seu argumento no quadro, para ser analisado entre os grupos. Em seguida, ocorria a discussão entre os grupos, mediada pelo professor. Nesse contexto, os estudantes tinham a possibilidade de construir um novo argumento coletivo entre os grupos a partir do confronto e da ressignificação dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos. Ao final da aula, o professor fornecia um *feedback*, a partir do discurso científico, voltado para resolver conflitos, sistematizar o resultado final da discussão e contribuir para que todos os estudantes fossem capazes de compreender o conteúdo e o argumento. Após as discussões, tanto nos pequenos grupos, quanto entre os grupos, os alunos deveriam entrar em consenso e formar um único argumento coletivo final.

Em síntese, é possível descrever as atividades didáticas adotadas pelo professor ao longo da proposta de ensino da seguinte forma:

- Distribuição do texto com uma semana de antecedência para os alunos;
- Entrega do resumo antes da aula;
- Discussão em pequenos grupos do problema proposto pelo professor;
- Elaboração em pequenos grupos de um argumento para responder à questão do problema proposto;
- Confronto e análise entre os grupos dos argumentos construídos nos pequenos grupos;
- Ressignificação, discussão e elaboração de um argumento coletivo, entre os grupos, para responder à questão do problema;
- *Feedback* para sistematizar e apresentar o resultado do argumento.

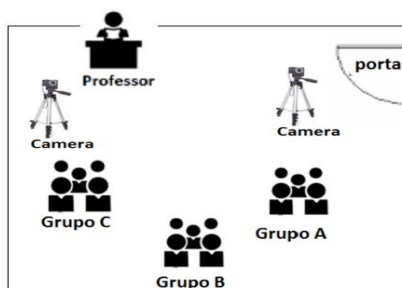
3.2 COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados por meio da gravação em vídeo das interações entre os estudantes durante as atividades em pequenos grupos, das discussões entre os grupos e dos argumentos escritos produzidos pelos estudantes. A coleta também ocorreu a partir do registro em diário de bordo das descrições e reflexões das atividades realizadas ao longo da proposta¹².

Com o objetivo de expandir a quantidade de instrumentos de coleta de dados e garantir a qualidade de registro destes, durante as atividades desenvolvidas em pequenos grupos, além da filmagem em vídeo, solicitávamos que um membro de cada grupo utilizasse o celular para gravar as discussões entre eles. Ao final da aula, esses arquivos de áudio foram transferidos para o computador do pesquisador. Estratégia semelhante foi adotada para garantir a qualidade de registro de dados das discussões entre os grupos.

As figuras abaixo apresentam a organização espacial da sala durante a coleta de dados. Essas representações ilustram o posicionamento das câmeras durante as discussões em pequenos grupos e entre os grupos, Figuras 3 e 4, respectivamente.

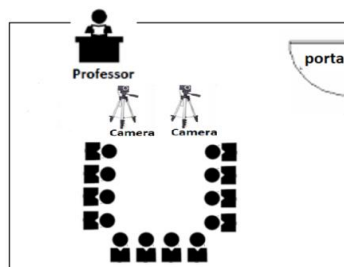
Figura 3 - Esquema das posições das câmeras para filmar as interações dos alunos reunidos em pequenos grupos.



Fonte: Elaborada pelos autores.

¹² A partir do registro no diário de bordo a proposta de ensino foi aprimorada no decorrer de sua aplicação.

Figura 4 - Esquema das posições das câmeras para filmar a discussão entre os grupos.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para a análise dos argumentos dos alunos foi realizada a transcrição dos vídeos da discussão nos pequenos grupos e entre os grupos. As transcrições foram os principais dados utilizados para analisar o processo de discussão e construção dos argumentos. O uso de múltiplas fontes de dados, articulada com a observação de diferentes pesquisadores, permitiu a ocorrência de triangulação, com o objetivo de tentar garantir a validade e a fidedignidade da análise dos dados.

A primeira estratégia após a transcrição dos vídeos foi identificar os episódios argumentativos. O critério para identificar o episódio foi o reconhecimento nos turnos de fala de uma conclusão que visa responder ao problema proposto, seguida da identificação do dado apresentado para se chegar a essa conclusão e da justificativa apresentada para sustentá-la. Na sequência, os argumentos elaborados pelos alunos foram organizados de acordo com o modelo de Toulmin. Posteriormente, passamos à análise da qualidade do argumento a partir dos critérios Coerência Formal, Validade, Legitimidade, Pertencimento, Suficiência e Respaldo (Seção 3.3).

O critério adotado para identificar os alunos dentro das discussões está diretamente relacionado à letra do grupo (A, B ou C) ao qual o(a) aluno(a) pertence e à ordem alfabética do nome¹³ deste ou desta dentro do respectivo grupo (Quadro 2).

¹³ Em conformidade com a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, adotamos pseudônimos para garantir o anonimato dos estudantes que participaram da pesquisa.

Quadro 2 - Critério de identificação dos alunos durante a aplicação da proposta de ensino.

GRUPO A		GRUPO B		GRUPO C	
Nome	Símbolo	Nome	Símbolo	Nome	Símbolo
Bruna	A1	Fernando	B1	Alan	C1
Carol	A2	Rodrigo	B2	Bruno	C2
Marcelo	A3	Tereza	B3	Eduardo	C3
Olga	A4	Tiago	B4	Laís	C4
Sara	A5			Talita	C5

Fonte: Elaborado pelos autores.

A identificação das contribuições dos estudantes na construção dos argumentos, na discussão coletiva em pequenos grupos e entre os grupos foi descrita no argumento que foi representado de acordo com o modelo de Toulmin.

3.3 CRITÉRIOS DE ANÁLISE

Nesta pesquisa, como o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos está voltado para a vertente lógica da argumentação, os critérios devem ser capazes de identificar e verificar o papel dos elementos constitutivos de um argumento, a relação entre eles, o conteúdo do argumento e o contexto teórico em que são desenvolvidos.

A qualidade de um argumento no modelo de Toulmin (2006), se verifica a partir do papel desempenhado pelos elementos que constituem o modelo e como estes se relacionam. Todavia, o modelo não estabelece critérios para classificar o conteúdo do argumento. Por consequência, não dá conta de analisar a complexidade total de um argumento (KNIPPING; REID, 2019; SAMPSON; CLARK, 2008; TEIXEIRA et al., 2010;). Diante disso, em nosso estudo, para analisar o conteúdo do argumento e o contexto teórico em que são produzidos, desenvolvemos critérios de análise e adaptamos outros da ferramenta analítica desenvolvida por Penha e Carvalho (2015) para atender ao objetivo de pesquisa (Quadro 3).

Quadro 3 - Rubricas para avaliar a qualidade do argumento.

Rubricas para avaliação da Qualidade do Argumento		
Critério	Pontuação	Descrição
Coerência Formal (C) Analisa se os componentes que formam o argumento desempenham suas funções de acordo com o modelo de Toulmin:	0	Nenhum componente desempenha adequadamente sua função estrutural.
	1	Alguns componentes desempenham sua função estrutural.
	2	Todos os componentes desempenham suas funções estruturais.
Validade (V) Analisa se a conclusão do argumento responde à questão do problema proposto:	0	A conclusão responde de maneira incorreta à questão do problema.
	1	A conclusão responde de maneira parcialmente correta à questão do problema.
	2	A conclusão responde totalmente à questão do problema.
Legitimidade (L) Identifica se a justificativa do argumento está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve:	0	Justificativas não são aceitáveis dentro do contexto teórico.
	1	Justificativas são parcialmente aceitáveis dentro do contexto teórico.
	2	Justificativas são totalmente aceitáveis dentro do contexto teórico.
Pertencimento (P) Identifica se o fundamento que dá suporte à justificativa pertence ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve:	0	Fundamentos não são aceitáveis dentro do contexto teórico.
	1	Fundamentos são parcialmente aceitáveis dentro do contexto teórico.
	2	Fundamentos são totalmente aceitáveis dentro do contexto teórico.
Suficiência (S) Analisa se a justificativa é suficiente para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão:	0	As justificativas não são suficientes.
	1	As justificativas são parcialmente suficientes.
	2	As justificativas são totalmente suficientes.
Respaldo (R) Analisa se o fundamento é satisfatório para dar respaldo à justificativa:	0	Os fundamentos não são satisfatórios.
	1	Os fundamentos são parcialmente satisfatórios.
	2	Os fundamentos são totalmente satisfatórios.

Fonte: Adaptado de Penha (2012).

Com o critério Coerência Formal é possível analisar se os componentes que formam o argumento desempenham suas funções. Assim, um argumento descrito dentro do modelo de Toulmin (2006), em que cada elemento cumpre seu papel dentro da estrutura, deve ser definido como um argumento coerente. Esse critério possui três graus de pontuação, são eles: 0 (zero), quando nenhum componente do argumento desempenha adequadamente sua função estrutural; 1 (um), quando alguns componentes do argumento desempenham sua função estrutural; e 2 (dois), quando todos os componentes do argumento desempenham sua função estrutural.

O critério Validade analisa se a conclusão do argumento responde à questão proposta pelo problema. No desenvolvimento de argumentos em uma área específica das ciências, o conteúdo da conclusão é relevante, tendo em vista que o objetivo do argumento é responder uma questão que resolve um problema sobre um fenômeno natural. Conforme Mendonça e Justi (2014), a análise do tipo de justificativa deve levar em consideração o conteúdo da conclusão, tal como o contexto em que foi expressa. Os graus de pontuação deste critério são, quais sejam: 0 (zero), quando a conclusão responde de maneira incorreta à questão do problema; 1 (um), quando a conclusão responde à questão de maneira parcialmente correta; e 2 (dois), quando a conclusão responde à questão de maneira correta.

O aspecto conceitual é um parâmetro fundamental em argumentos de natureza científica (BOTTCHER; MEISERT, 2011). Neste estudo, diferentemente da rubrica definida por Penha e Carvalho (2012, 2015), que incide apenas sobre a natureza da justificativa, foram avaliados, a partir dos critérios Legitimidade, Pertencimento, Suficiência e Respaldo as justificativas e, também, os fundamentos que compõem o argumento¹⁴. A qualidade de um argumento está relacionada com a utilização de conhecimento científico dentro da área na qual o argumento se desenvolve, tendo em vista que o valor de um argumento depende do contexto em que ele é produzido (BILLIG, 1996; SAMPSON; CLARK, 2008).

¹⁴ As adaptações são necessárias, haja vista que a rubrica desenvolvida por Penha e Carvalho é direcionada para analisar a qualidade da argumentação sobre questões sociocientíficas, que podem ser apoiados em justificativas e fundamentos de campos conceituais diferentes (religioso, moral, econômico, etc.). Todavia, a avaliação de argumentos em um campo das ciências, que é objeto de interesse desse estudo, envolve a adoção de uma rubrica capaz de analisar de forma separada as justificativas e fundamentos, ao tento que elas exercem funções diferentes. Ademais, os fundamentos de um argumento expressam a capacidade de mobilizar conhecimento científico específico na construção de argumentos sobre ciências.

Um argumento possui Legitimidade quando a justificativa que compõe o argumento está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve. Esse critério possui três graus de pontuação, a saber: 0 (zero), quando as justificativas não estão dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 1 (um), quando algumas justificativas estão dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 2 (dois), quando todas as justificativas estão dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve.

Um argumento possui Pertencimento quando o fundamento, que é campo-dependente e dá apoio à justificativa, pertence ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve. Esse critério possui três graus de pontuação, trata-se: 0 (zero), quando os fundamentos não pertencem ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 1 (um), quando alguns fundamentos pertencem ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 2 (dois), quando todos os fundamentos pertencem ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve.

Em certos casos, são necessárias mais de uma justificativa para estabelecer a relação entre dados e a conclusão de alguns argumentos. Logo, quando um argumento não apresenta todas as justificativas corretamente, isso não será suficiente para estabelecer a conclusão de modo satisfatório. Assim sendo, o critério Suficiência analisa se as justificativas do argumento são suficientes para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão. Em um contexto teórico específico de conhecimento científico, esse critério visa avaliar se o argumento apresenta todas as justificativas que são necessárias para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão. Em nosso estudo, por exemplo, o argumento pode responder de maneira correta à questão proposta pelo problema (**C = 2**), possuir justificativas e fundamentos dentro do contexto teórico de desenvolvimento do argumento (**L = 2** e **P = 2**, respectivamente) e não apresentar todas as justificativas corretas, que são suficientes para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão (**S = 1**). Esse critério possui três graus de pontuação, são eles: 0 (zero), quando o argumento não apresenta nenhuma justificativa suficiente para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão; 1 (um), quando o argumento apresenta algumas das justificativas suficientes para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão; 2 (dois), quando o argumento apresenta todas as justificativas suficientes para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão.

O critério Respaldo analisa se os fundamentos dos argumentos são satisfatórios para dar respaldo à justificativa do argumento. Em outros termos, analisa se o aluno apresenta todos os fundamentos que apoiam um argumento dentro de um contexto teórico específico. Esse critério também possui três graus de pontuação, quais sejam: 0 (zero), quando o argumento não apresenta nenhum fundamento satisfatório para dar respaldo à justificativa; 1 (um), quando o argumento apresenta alguns dos fundamentos satisfatórios para darem respaldo à justificativa; 2 (dois), quando o argumento apresenta todos os fundamentos satisfatórios para dar respaldo à justificativa.

Os critérios adotados garantem uma análise pormenorizada da qualidade dos argumentos dentro da perspectiva lógica em dois aspectos: (1) Domínio geral – *campo-invariante* – que analisa se os elementos constitutivos de um argumento cumprem sua função e (2) Domínio específico – *campo-dependente* – que analisa a relação dos elementos que compõem o argumento e está fortemente relacionado ao campo teórico-conceitual ao qual o argumento pertence (ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004; SAMPSON; CLARK, 2008).

Ambos os domínios fazem referência ao processo de identificar e verificar o papel dos elementos constitutivos de um argumento, como estes se relacionam, se levam em consideração o contexto teórico em que são desenvolvidos e o aspecto conceitual desses elementos. Entende-se que esses dois domínios são relevantes para o desenvolvimento e avaliação de argumentos sobre ciências. Entretanto, não se estabelece critério de valorização de um domínio sobre o outro, haja vista que a qualidade de um argumento é dada em função da sua estrutura e do seu conteúdo (SAMPSON; CLARK, 2008). Portanto, entendemos que um argumento de boa qualidade possui elementos que exercem suas funções e que se relacionam dentro do modelo de Toulmin (2006). Ademais, esse argumento leva em consideração o contexto teórico em que é construído, a partir da utilização de conhecimento científico específico.

4. ANÁLISE, RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE E RESULTADOS

Nesta seção apresentamos a análise da qualidade dos argumentos elaborados pelos estudantes em dois momentos específicos, a saber: Semana 3 – Tema da aula: Movimento segundo Aristóteles e Semana 13 – Tema da aula: Terceira Lei de Newton. Optamos por escolher aulas que ocorreram no início e no final da disciplina. Dessa maneira, almejamos ter condições de avaliar o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos ao longo da aplicação da proposta de ensino.

Por razão de parcimônia, alguns turnos de fala que não são relevantes à análise serão suprimidos. No entanto, os turnos de fala encontram-se no Apêndice A e B, respectivamente, e podem ser lidos na íntegra. Ademais, diante da necessidade de esclarecer melhor alguns trechos dos episódios analisados, podem ser explicitados recortes de turnos de fala de outros episódios.

Com o intuito de facilitar a identificação dos elementos do argumento, no Quadro 4 é apresentada a associação, do ponto de vista do pesquisador, entre os elementos que compõem o argumento e as cores adotadas para cada um deles.

Quadro 4 - Associação dos elementos do modelo de Toulmin e as suas respectivas cores.

Elemento	Cor
Dado	Amarelo
Justificativa	Verde
Conclusão	Azul
Fundamentos	Rosa
Qualificador	Cinza
Refutador	Vermelho

Fonte: Adaptado de Santos (2017, p. 54).

Episódio 1 – Movimento de corpos segundo Aristóteles

O primeiro episódio argumentativo que foi analisado se refere referente à terceira semana de aula, que teve como tema O movimento de corpos segundo Aristóteles (Quadro 5).

Quadro 5 - Mapa dos momentos I e II, da terceira semana de aula. Tema: movimento segundo Aristóteles.

Duração	Atividades desenvolvidas	Ações do professor e/ou do aluno	Comentários
Início da aula: 14:00h Momento inicial da aula com duração de cerca de 15min.	Início da aula: Apresentação da temática da aula e esclarecimento sobre as atividades que serão desenvolvidas em sala.	O professor realiza um <i>feedback</i> das atividades realizadas na aula anterior. Na sequência, pede que os alunos, tomando como base o texto previamente lido, realizem uma discussão para responder às questões pró-argumentativas sobre o estudo do movimento segundo Aristóteles. Os alunos se organizam em grupos.	Os alunos se organizam em três grupos: Grupo A - cinco alunos; Grupo B - quatro alunos; e Grupo C - cinco alunos.
00:00:01 Momento I 00:09:13	Discussão coletiva em pequenos grupos e resolução de questões pró-argumentativas.	Discussão coletiva em pequenos grupos para responder as questões pró-argumentativas.	A gravação do áudio começa a partir deste momento. Todos os alunos se envolvem para responder às questões. O professor teve que passar entre os grupos B e C para reiterar que a resposta às questões deve passar por um processo de acordo entre os componentes do grupo.
00:09:14 Momento II 00:29:17	Discussão em pequenos grupos e elaboração de um argumento coletivo para responder um problema.	Após a discussão coletiva das questões pró-argumentativas, que formavam o roteiro disponibilizado para casa, o professor entregou um problema (Figura 5) para que os alunos discutissem e elaborassem um argumento coletivo para responder.	Os membros do grupo A propõem situações distintas para refletirem sobre o problema. Um componente do grupo A, que não participou da aula 2, apesar de ter entregado o resumo dos textos utilizados na aula, teve dificuldade em contribuir na construção do argumento.

Fonte: Adaptado de Teixeira (2010a, p. 68).

Figura 5 - Problema sobre a concepção aristotélica de movimento.

Problema: Dois corpos, A e B, são abandonados de uma mesma altura, no mesmo instante. De acordo com a física aristotélica, explique quem chega primeiro ao chão. Considere que a massa de A é duas vezes maior que a massa de B.

Fonte: elaborado pelo autor.

O episódio argumentativo analisado contém o argumento coletivo elaborado pelo grupo A¹⁵, no momento II da terceira semana de aula da proposta de ensino, aulas 11 e 12¹⁶. Em concordância com Santos (2017), com o objetivo de melhor elucidar as contribuições individuais dos estudantes na construção do argumento, será apresentada uma síntese do episódio analisado. A síntese não irá seguir a ordem cronológica dos turnos de fala, aos quais o processo argumentativo ocorreu, mas sim uma ordem que exprime como os estudantes construíram o argumento enquanto produto acabado¹⁷.

(1) Turno: T2/T16 – Alunos A1 e A2: Neste trecho, após a leitura da questão, os alunos **A1** e **A2** discutem o problema e chegam à seguinte resposta: o corpo A chega primeiro ao chão, uma vez que “vai conseguir atingir uma velocidade duas vezes maior” (**T14**) que a velocidade do corpo B e, portanto, “vai chegar duas vezes mais rápido no caso, vai gastar metade do tempo” (**T16**) para chegar ao chão. Nesse trecho, **A2** defende que “a velocidade depende do peso” (**T5**), **A1** concorda e responde à questão do problema (**T10**).

Turno 2 – A2: Dois corpos A e B são abandonados na mesma altura (/).

Turno 3 – A1: No mesmo instante, de acordo com a física aristotélica explique quem chega primeiro ao chão. Considere que a massa de A é duas vezes maior que a massa de B. E aí, gente?

...

Turno 5 – A2: A velocidade depende do peso.

Turno 6 – A1: Pronto, para Aristóteles a velocidade depende do peso.

...

Turno 10 – A1: Então o mais pesado chega mais rápido.

¹⁵ O Grupo A foi o único grupo em que todos os membros fizeram a leitura prévia do texto, requisito para os alunos refletirem, discutirem e construírem um argumento sobre o tema da aula.

¹⁶ Foram adotados os seguintes códigos para descrever algumas ações nas falas dos participantes da pesquisa: (...) - Pensamento longo; (/) - Interrupção na fala; (?) - Palavra ou frase incompreensível; ... - omissão de palavra/frase que não é relevante à análise, por ser inadequado ao contexto de sala de aula (Por exemplo: conversas paralelas, que fogem ao tema da aula; palavrões; xingamentos etc.).

¹⁷ São utilizadas as seguintes nomenclaturas para os turnos de fala analisados: TN/TN' - intervalo entre os turnos de fala de número N ao de número N'. Por exemplo, T11/T20 significa todos os turnos de fala a partir do 11 (onze) até o 20 (vinte); TN e TN' – turnos de fala de número N e de número N'. Por exemplo, T4 e T30 significado o turno de fala 4 (quatro) e o turno de fala 30 (trinta), especificamente; TN – apenas o turno fala de número N. Por exemplo, T8 significa apenas o turno de fala de 8 (oito).

...
Turno 12 - A1: Pra Aristóteles. E aí, já que o A tem massa duas vezes maior ele vai chegar, na verdade ele vai ter velocidade duas vezes maior. Não é nem que ele vai chegar mais rápido, mas que ele vai ter velocidade duas vezes maior.

...
Turno 14 - A1: Ele vai conseguir atingir uma velocidade duas vezes maior.

Turno 15 - A4: Mas logo (/).

Turno 16 - A1: Ele vai chegar duas vezes mais rápido no caso, vai gastar metade do tempo.

(2) Turnos: T21/T41 – Aluno A1 e A4: De posse da resposta do problema os alunos partem para a construção do argumento coletivo conforme o modelo de Toulmin. Nesse trecho, os alunos identificam o dado, que é descrito pelos alunos **A1** e **A4**, da seguinte forma: “Se dois corpos A e B são abandonados na mesma altura, no mesmo instante”.

Turno 21 - A4: Os dados seriam: dois corpos A e B abandonados na mesma altura, né?

...
Turno 23 - A4: Se dois corpos A e B são abandonados na mesma altura, no mesmo instante (/).

...
Turno 39 - A1: Se dois corpos A e B são abandonados numa mesma altura.

...
Turno 41 - A4: No mesmo instante.

(3) Turnos: T167 e T168 – Aluno A1 e A4: Nesse trecho é estabelecida a conclusão do argumento do grupo A, a saber: o corpo A cairá “duas vezes mais rápido” do que o corpo B. No mesmo trecho, **A1** concorda com **A4** ao afirmar que o corpo A cairá “com velocidade duas vezes maior”.

Turno 167 - A4: Com certeza B cairá duas vezes mais rápido, né? Que A. É duas vezes mais rápido ou (...).

Turno 168 - A1: Com velocidade duas vezes maior. O que vai dar duas vezes mais rápido.

(4) Turnos: T184/T198 – Alunos A1, A2 e A4: Nos trechos selecionados, o grupo está preocupado em justificar o argumento, que tem início a partir da indagação de **A3 (T184)**. Diante disso, **A1** coloca que é nos dados que se afirma que os corpos A e B possuem massas diferentes. Todavia, para **A4** é na justificativa que isso é informado. Por fim, a justificativa é descrita da seguinte forma: “a massa de A é duas vezes maior que a massa de B”¹⁸.

Turno 184 - A3: Justificativa?

¹⁸ O trecho analisado aqui se refere ao momento em que o grupo define a justificativa para o argumento. Ademais, fica claro ao longo de todo o episódio argumentativo que a justificativa é citada em diversos outros momentos.

Turno 185 – A4: É, “já que A” (...)
 Turno 186 - A1: A massa de A é duas vezes maior que a massa de B.
 ...
 Turno 190 – A4: Não, achei que tinha falado duas vezes menor.
 Turno 191 - A1: Maior.
 ...
 Turno 197 – A3: A massa de A é duas vezes maior (...).
 Turno 198 – A2: Que a massa de B.

(5) Turnos: T165/T171 – Alunos A1, A2 e A4: Neste trecho os alunos citados utilizam o termo “com certeza” para qualificar o argumento elaborado pelo grupo.

Turno 165 – A4: Então A3, na conclusão ‘tu coloca’, ‘tu coloca’ o qualificador, né? “Com certeza” (/)
 Turno 166 - A1: É, com certeza.
 Turno 167 – A4: Com certeza B cairá duas vezes mais rápido, né? Que A. É duas vezes mais rápido ou (...).
 Turno 168 - A1: Com velocidade duas vezes maior. O que vai dar duas vezes mais rápido.
 Turno 169 – A2: Esse “com certeza” é um qualificador que a gente enfiou aí?
 Turno 170 – A4: É.
 Turno 171 – A4: Com certeza B cairá duas vezes mais rápido que o A. Aí na justificativa (...).
 ...
 Turno 176 – A4: Não, o qualificador é “com certeza” (/)
 ...
 Turno 180 – A2: Aí é a conclusão e o qualificador ‘tá’ dentro.
 Turno 181 - A1: O “com certeza” é qualificador porque aí ‘tava’ só como conclusão.

(6) Turnos: T199/T205 – Alunos A3 e A4: Nesse trecho é estabelecido o fundamento do argumento - “que é garantido pela física aristotélica” – sem uma descrição das características do princípio aristotélico que.

Turno 199 – A4: Mas, o fundamento é a lei física, né? Que a gente fala.
 ...
 Turno 201 – A4: A física aristotélica.
 ...
 Turno 205 – A4: “Que é garantido pela física aristotélica”.

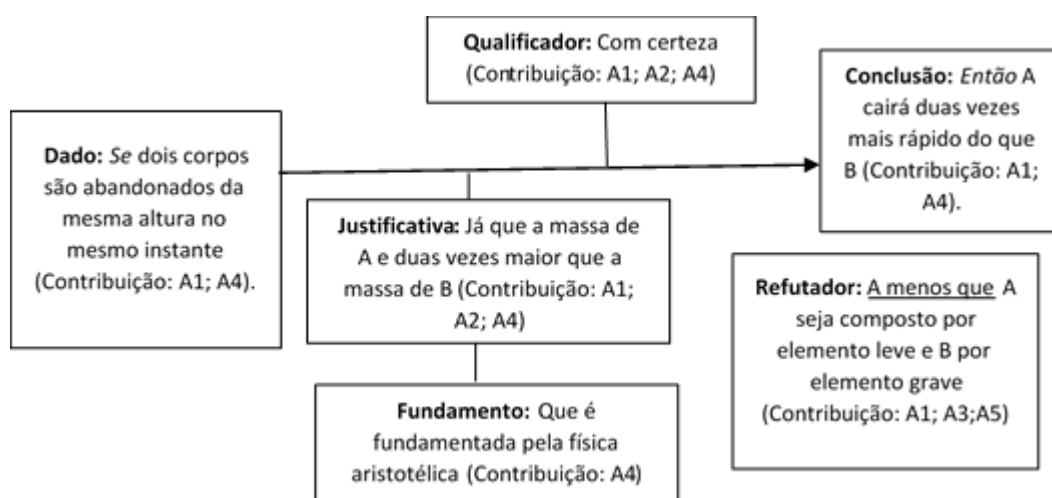
(7) Turnos: T221/T251 – Alunos A1, A3 e A5: Nesses turnos de fala o refutador é determinado da seguinte forma: “a menos que A seja composto de um elemento leve e B seja composto de um elemento grave.”

Turno 220 – A3: Refutador.
 ...
 Turno 227 – A3: “A menos que A seja composta de um elemento”.
 Turno 228 - A1: Leve e B de um elemento pesado.
 ...
 Turno 251 – A3: “A menos que A seja composto de um elemento leve e B seja composto de um elemento grave”.

A interação discursiva representada pelo processo que vai de (1) até (7) resultou em um argumento coletivo produzido pelo grupo A. Ao final da atividade, foi solicitado que os grupos descrevessem seus argumentos. No grupo A essa tarefa

coube ao aluno **A4**, que, utilizando os termos marcadores adotados na proposta de ensino (Figura 1), descreveu o argumento da seguinte forma: Se dois corpos são abandonados da mesma altura no mesmo instante, então, com certeza, A cairá duas vezes mais rápido do que B, já que a massa de A é duas vezes maior que a massa de B, a menos que A seja composto por elemento leve e B por elemento grave, que é fundamentada pela física aristotélica. Este argumento pode ser representado de acordo com o modelo de Toulmin da seguinte forma:

Figura 6 - Argumento coletivo desenvolvido pelo grupo A.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A concepção de movimento natural de Aristóteles está diretamente relacionada com sua Cosmologia. O estado natural dos corpos na Terra é o repouso; todavia, quando um corpo é deslocado para longe de seu lugar natural, tem tendência em retornar pelo caminho mais curto, em uma trajetória linear ascendente ou descendente. Para Aristóteles, tudo no mundo terrestre é composto dos quatro elementos: terra, água, ar e fogo. O lugar natural da terra e da água, por serem pesados, é embaixo. O lugar natural do fogo e do ar, por serem leves, é em cima (COHEN, 1988; PEDUZZI, 2015). O movimento natural não precisa de causa, é uma tendência das coisas de buscar seu lugar natural. O movimento violento, ou não natural, depende de uma causa que faça o corpo se mover de forma contrária à sua tendência natural.

Em uma linguagem moderna, o movimento natural é proporcional à tendência natural dos corpos (peso), de retornarem para o seu lugar natural, e inversamente

proporcional à densidade do meio (resistência do meio). Dessa maneira, de acordo com a ideia aristotélica de movimento, se dois corpos iguais, em forma e tamanho, com massas diferentes, com proporções maiores do elemento terra em sua constituição, são soltos da mesma altura e no mesmo instante, o mais pesado chagaria mais rápido ao solo, tendo em vista que a velocidade de queda depende do peso do corpo. Desse modo, se um dos corpos tivesse o dobro da massa do outro, o corpo mais pesado alcançaria o solo na metade do tempo, com uma velocidade duas vezes maior.

O argumento elaborado pelo grupo A (Figura 6) apresenta **conclusão** apoiada em **dados, justificativa, fundamento, qualificador e refutador**. Com o objetivo de qualificar o argumento, o grupo A inseriu a locução adverbial “com certeza” com a intenção de reforçar a conclusão. Todavia, não existe nenhuma passagem nos textos históricos utilizados em sala de aula¹⁹, que estabeleça um qualificador para o argumento sobre o movimento de corpos na concepção aristotélica. Entendemos assim, levando em consideração os textos históricos adotados na proposta de ensino, que não era interesse de Aristóteles moderar e/ou reforçar seu argumento sobre esse tema.

Existem indícios que os alunos determinaram o **qualificador** sem nenhum tipo de relação com o texto histórico adotado. Logo, parece que os alunos estavam, nesse momento, preocupados em construir um argumento “completo”, isto é, com todos os elementos do modelo de Toulmin (2006), sem preocupação em estabelecer uma relação direta com o contexto teórico de construção do argumento. Para além do **qualificador**, o fundamento estabelecido pelos membros do grupo A não descreve o princípio que dá suporte à **justificativa**.

Dessa maneira, levando em consideração o sistema de rubricas apresentado anteriormente (Quadro 3), é possível concluir que apenas alguns componentes do argumento do grupo A (**dados, conclusão, justificativa e refutador**) desempenham suas funções dentro do modelo de Toulmin (2006). Diante disso, o argumento recebe uma pontuação 1 (um) no critério Coerência Formal.

¹⁹ COHEN, I. Bernard. A velha física. *In: O Nascimento de uma nova Física*. Lisboa: editora GRANDIVA. cap. 2, p. 29-43, 1988; LUCIE, P. A Cosmologia e a Física Aristotélica. *In: A Física Básica*. Rio de Janeiro: Campus, cap. 2, p. 13-25, 1979.

O argumento, por meio da **conclusão**, resolve o problema de maneira correta; logo, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Validade.

A **justificativa** do argumento está dentro do contexto teórico no qual o argumento é desenvolvido, isto é, a concepção aristotélica do movimento de corpos; logo, recebe pontuação 2 (dois) no critério Legitimidade.

O **fundamento** que dá suporte à **justificativa** pertence ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve, logo o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Pertencimento.

Os estudantes apresentaram a **justificativa** suficiente para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**. Dessa forma, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Suficiência.

O **fundamento** não explicita qual princípio aristotélico é capaz de dar suporte à **justificativa** (Princípio aristotélico que afirma que se uma pedra mais pesada e outra mais leve, são soltas de uma mesma altura, a pedra mais pesada atinge o solo primeiro). Por sua vez, os membros do grupo A descreveram no decorrer do processo de construção do argumento, utilizando uma linguagem moderna, que a velocidade de queda depende do peso. Assim, o corpo com o dobro de massa, chega ao chão mais rápido, pois atinge uma velocidade duas vezes maior com relação ao outro corpo (**T5/T16**). Diante disso, podemos inferir que o teor do **fundamento** que é satisfatório para dar respaldo à **justificativa** é explicitado pelos futuros professores de Física. Logo, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Respaldo.

Ao longo do episódio é possível perceber como os alunos utilizam o roteiro sobre o modelo de Toulmin (2006) (Apêndice C)²⁰ para discutir e desenvolver o argumento. Nos trechos descritos abaixo, por exemplo, os alunos, após responderem ao problema, passam a discutir a própria estrutura do argumento a partir da determinação dos dados.

Turno 17 – A2: Agora essa parte é a parte que a gente copia, porque tem que fazer o argumento (/)

Turno 18 - A1: Sim.

Turno 19 – A4: É, tem que ver quem é cada coisa, né? Os dados.

Turno 20 – A1: Sim.

²⁰ O roteiro sobre o modelo de argumento de Toulmin é uma síntese sobre a função dos componentes do mesmo e de como eles se relacionam.

Em outro momento, o aluno **A1** faz uma referência direta ao roteiro (**T52**), com o objetivo de legitimar a passagem entre os dados e a conclusão.

Turno 50 - A1: Não, mas 'pera aí', 'pra' você chegar na conclusão que um (?) que o outro você precisa disso nos dados.

Turno 51 - A5: Mas então, a gente vai refutar isso lá na conclusão, a gente concluiu não é isso?

Turno 52 - A1: Porque a justificativa uma vez aprovada pelos fundamentos vai autorizar a conclusão obtida a partir dos dados, sendo considerado qualificador, né?

Turno 53 - A4: Mas gente, olha o que eu vou falar 'ó', se a gente 'tá' considerando que A e B são dois corpos, a gente pode falar assim "Então, é (...)" (/).

Turno 54 - A1: Sendo A duas vezes mais pesado do que B.

Turno 55 - A5: Não, isso aí a gente poderia usar como refutador.

Turno 56 - A5: Não, a gente coloca, 'pera aê', a gente coloca que o B vai cair primeiro.

Turno 57 - A1: Qual seria a conclusão?

Turno 58 - A1: A gente tem que usar a referência aristotélica.

Turno 59 - A4: Exatamente, na justificativa, na justificativa que a gente usa.

Turno 60 - A1: Então a gente vai botar na conclusão que eles vão chegar ao mesmo tempo a não ser que, a menos que (/).

Turno 61 - A5: A menos que.

Turno 62 - A4: E aqui na justificativa a gente coloca "já que A tem massa" (/).

Turno 63 - A1: Duas vezes maior que B.

Turno 64 - A4: É. Que é mantido pela física aristotélica. Não necessariamente precisa colocar nos dados.

No decorrer do episódio, os alunos continuam discutindo como colocar cada elemento do argumento.

Turno 72 - A3: Agora conclusão, vai direto 'pra' conclusão ou vai 'pra' justificativa?

Turno 73 - A4: A gente coloca o qualificador, né?

Turno 74 - A1: Sim, do A. Ah, aí ele vai dizer sempre ou é com certeza.

Turno 75 - A4: Sendo não, é certo, necessário provar que garante (...).

Turno 76 - A4: É isso, aí na conclusão a gente coloca "então com certeza" (/)

Turno 77 - A1: Com certeza os dois vão cair ao mesmo tempo.

Turno 78 - A3: Então o "com certeza" seria o (...).

Turno 79 - A1: Qualificador. 'Pera aí', porque se a gente botar "com certeza os dois vão cair ao mesmo tempo" a gente já 'tá' indo pra conclusão, então qualificadora é com certeza só.

Turno 80 - A4: É isso, mas o qualificador é com certeza mesmo.

Turno 81 - A2: Mas gente, o resultado eles não cairiam ao mesmo tempo.

Turno 82 - A5: Mas isso aí seria o refutador.

Turno 83 - A1: Porque a gente vai botar como se as duas tivessem a mesma massa, aí "a menos que as duas tenham massas diferentes vão cair em tempos diferentes". (...)

Turno 85 - A3: A conclusão é "Então".

Turno 86 - A5: Os dois caem ao mesmo tempo.

Turno 87 - A4: E a gente vai usar a justificativa o que?

(...)

Turno 89 - A4: Então o que eu falei foi diferente, não 'tô' pensando desse jeito não.

Turno 90 - A3: Mas a justificativa tem que ter.

(...)

Turno 92 - A4: O que eu te falei àquela hora, no meu pensamento a gente ia colocar que B ia cair antes de (/).

Em outro momento, ao fazer referência à instrução dada pelo professor no início da proposta de ensino, aula da semana anterior, a aluna **A1** afirma que o

qualificador é só palavra, é um negócio pequenininho, pode ser “com certeza, “nunca”, “às vezes” (T183).

Turno 182 – A2: Na outra semana a gente colocou o qualificador por último, mas ele falou que o qualificador não pode ter frase, é só palavra.

Turno 183 - A1: É, o qualificador é só palavra, é um negócio pequenininho, pode ser “com certeza, “nunca”, “às vezes”.

A partir dos trechos descritos acima, é possível inferir que os alunos utilizaram o roteiro para tirar dúvidas com relação aos elementos constitutivos do modelo de Toulmin. Ademais, ao longo do episódio os alunos discutem a estrutura do argumento que estavam construindo, isto é, estavam argumentando sobre seus próprios argumentos (exercício de meta argumentação), o que parece indicar que a construção do argumento ocorreu de maneira consciente. Assim, apesar dos problemas estruturais, a análise do episódio apresenta indícios que o ensino explícito da argumentação parece ter sido fundamental para a construção de um argumento coletivo de boa qualidade sobre o movimento segundo Aristóteles.

Episódio 2 – Terceira Lei de Newton

O segundo episódio argumentativo que foi analisado é referente à décima terceira semana de aula, que teve como tema a Terceira Lei de Newton (Quadro 6).

Quadro 6 - Mapa dos momentos I e II, da décima terceira semana de aula. Tema: Terceira Lei de Newton.

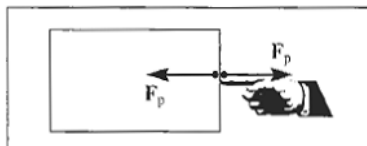
Duração	Atividades desenvolvidas	Ações do professor e/ou do aluno	Comentários
Início da aula: 14:00h. Momento inicial da aula com duração de cerca de 15 minutos.	Início da aula: Apresentação da temática da aula e esclarecimento sobre as atividades que serão desenvolvidas em sala.	O professor realiza um <i>feedback</i> das atividades realizadas na aula anterior. Os alunos se organizam em pequenos grupos.	Os alunos se organizam em três grupos: Grupo A - cinco alunos; Grupo B - quatro alunos; e Grupo C - cinco alunos.
00:00:01 Momento I 00:07:56	Discussão coletiva em pequenos grupos. Análise coletiva entre os grupos dos argumentos elaborados nos pequenos grupos.	Reunidos em pequenos grupos, os alunos devem discutir e construir um argumento coletivo para responder o problema (Figura 7). Os alunos sentaram-se livremente na sala. Discussão entre os grupos dos argumentos elaborados por cada grupo	A gravação de vídeo começa a partir desse momento. Todos os alunos se envolvem para discutir e responder às questões.
00:00:01 Momento II 00:09:31	Construir um argumento coletivo, entre os grupos, para resolver à questão do problema.	O professor solicitou que os alunos elaborassem um argumento coletivo para responder ao problema.	A gravação de vídeo é retomada a partir desse momento. Os alunos se envolvem para responder o problema.

Fonte: Adaptado de Teixeira (2010a, p. 68).

Figura 7 - Problema sobre a Terceira Lei de Newton.

Problema 2 – Considere um bloco de massa, m , sobre uma superfície horizontal.

Figura: Dedo aplicando uma força sobre um bloco qualquer.



Fonte: NUSSENZVEIG (2002).

Se um dedo aplica uma força sobre o bloco, de acordo com seu conhecimento na terceira lei de Newton, elabore um argumento para responder a seguinte questão:

Quais as características da força que o bloco exerce sobre o dedo?

Observação: Nessa situação, considere um sistema isolado, em que há apenas a interação entre o bloco e o dedo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Inicialmente, no Momento I, os alunos se organizaram em pequenos grupos para responder, a partir do texto (SILVA; TEIXEIRA, 2021)²¹ lido de maneira prévia, questões pró-argumentativas e construir um argumento para resolver um problema sobre a Terceira Lei de Newton. Posteriormente, os alunos se sentaram livremente na sala e o professor solicitou que cada grupo escrevesse o argumento no quadro, para ser comparado e analisado de maneira coletiva pelos alunos (Figura 8):

Figura 8 - Argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos de maneira coletiva.

Grupo A
Se um dedo aplica uma força \vec{F}_d sobre um bloco, então com certeza, o bloco exerce uma força sobre o dedo de mesma intensidade e direção, mas sentidos opostos à força aplicada sobre ele já que essas forças constituem um par de ação e reação, que é garantido pela 3ª lei de Newton.
Grupo B
Se um dedo aplica uma força sobre um bloco, então, com certeza, o bloco exercerá uma força de mesma intensidade e sentido oposto ao dedo, já que trata-se de um par de "ação e reação", que é garantido pela terceira lei de Newton.
Grupo C
Se um dedo aplica uma força sobre um bloco, então com certeza o bloco aplicará sobre o dedo uma força com a mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, já que trata-se de um par de ação e reação, que é garantido pela terceira lei de Newton.

Fonte: Elaborada pelos autores.

²¹ A referência trata do artigo que corresponde ao capítulo 1 (um) da tese, em construção, que ainda não foi submetido para publicação.

Na sequência da aula, os alunos analisaram de maneira coletiva os argumentos desenvolvidos por cada grupo²². No Momento II, após a discussão e avaliação dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos, os alunos foram orientados a construir um argumento coletivo, entre os grupos, para responder ao problema.

Turno 1 - Professor - Após a discussão dos argumentos dos grupos 1, 2 e 3, do problema 2, a gente vai então... vocês vão construir o argumento coletivo, que representa o grupo, ali no quadro. Aí eu queria um membro, que vai ser C5 dessa vez, 'pra' vir aqui no quadro copiar. Por favor, C5. Então...

(1) Turno: T3/T12 – Alunos C1, A5, C2 e B1: A construção coletiva do argumento teve início a partir do turno de fala 3. Diante disso, a partir da contribuição dos alunos **C1, A5, C2 e B1**, foi determinado os **dados**: "Se um dedo aplica uma força sobre o bloco" (**T3/T12**).

Turno 3 – C1 e A5 - Se um dedo aplica uma força...

...

Turno 5 – A4 - Nos dados, o de todo mundo 'tá' igual, né? Mas, o restante muda algumas palavras, então...

...

Turno 10 – B1 - Se um dedo...

Turno 11 – C2 - Aplica uma força...

Turno 12 – C1 - Aplica uma força sobre um bloco...

(2) Turno: T23/T31 – Alunos A1, C1 e A5: Neste trecho, a aluna **A1** descreve o **qualificador** (**T23**). Em seguida (**T25/T31**), a **conclusão** é estabelecida: "o bloco exerce uma força sobre o dedo de mesma intensidade e direção, mas em sentidos opostos".

Turno 23 – A1 - Com certeza...

Turno 24 – C1 - O bloco...

Turno 25 – A5 - O bloco exerce...

Turno 26 – A5 - Uma força...

Turno 27 – A5 - Sobre o dedo...

Turno 28 – Professor - Vamos lá, gente. Diga, C2.

Turno 29 – A5 - De mesma intensidade.

Turno 30 – A5 - E direção.

Turno 31 – A5 - E o resto, gente? Mas, sentidos opostos. Vai, gente, continua.

(3) Turno: T87/T103 – Alunos A1, A4, A5 e C4: Com o objetivo de esclarecer o critério utilizado pelos alunos para definir o **qualificador**, o professor realiza alguns questionamentos (**T89**; **T96**; **T98** e **T102**). Como resultado, os alunos realizaram uma relação com uma passagem do texto de natureza histórica (**T99**) para estabelecer o qualificador do argumento (**T99**).

²² Esse episódio se refere à terceira semana de aula – Momento 2 – Aula 51. No Apêndice C, os turnos de fala podem ser lidos na íntegra.

Turno 87 – A1 - "Com certeza" é o qualificador.

(...)

Turno 89 – Professor - É... o qualificador serve 'pra' que? Diga, C4.

Turno 90 – C4 - 'Pra' sustentar a conclusão?

Turno 91 – Professor - Alguém...

Turno 92 – A1 - Seria meio que 'pra' dar uma ênfase, tipo, "com certeza".

Turno 93 – A4 - Enfatizar.

Turno 94 – A5 - 'Pra' dar mais peso àquilo.

Turno 95 – A1 - Ou, então, "nunca". Ou, então...

(...)

Turno 97 - Alguns estudantes - "Com certeza".

Turno 98 – Professor - Esse qualificador escolhido, ele foi escolhido, definido por vocês baseado em que? Por que vocês chegaram a essa, vamos dizer, essa conclusão de que o "com certeza" seria o qualificador do argumento de vocês?

Turno 99 – A1 - Porque a Terceira Lei de Newton fala que 'pra' todo par de forças, no caso, o par de ação e reação, né? 'Pra' todo par, ele vai ter a intensidade igual, direção igual e sentido oposto. Então, já que é 'pra' todo, então, vai ser sempre. Então, ele "com certeza", isso vai acontecer.

...

Turno 102 – Professor - Alguém discorda ou gostaria de fazer um comentário 'pra' contribuir também com a fala do companheiro A1? A4, é isso mesmo?

Turno 103 – A4 - Sim.

A partir da análise desse trecho, é possível perceber que o termo “com certeza” é utilizado pelos alunos como sinônimo da passagem do texto histórico que afirma sempre que você exerce uma força sobre um corpo, esse corpo exerce uma força sobre você. Logo, para os alunos o termo “vai ser sempre” é sinônimo da expressão “com certeza”, que expressa uma condição específica pelo qual é possível considerar como válida a conclusão de Newton sobre o problema proposto.

(4) Turno: T40/T48 – Alunos A1, A5 e A4: Neste trecho, A fim de estabelecer a relação entre **dados** e **conclusão**, os alunos **A1** e **A5** determinam a **justificativa**: “Trata-se de um par ação e reação” (T40/T41), que recebe o apoio do fundamento (T48).

Turno 40 - A1 - Já que trata-se...

Turno 41 – A5 - Trata-se de um par ação e reação.

...

Turno 48 – A4 - Que é garantido pela Terceira Lei de Newton.

(5) Turno: T58/T69 – Alunos A1, A4, A5, C1, C3 e B2: Durante a continuidade do episódio argumentativo, o professor pergunta se há unanimidade sobre o argumento desenvolvido por eles. Diante disso, a aluna **A1** defende a necessidade de colocar os termos “sentidos opostos” na **conclusão** (T61). Afirmação que é corroborada pela aluna **A4** (T62).

Turno 59 – A1 - Bota "mas em sentido oposto" porque ele 'tá' falando da força que o bloco exerce sobre o dedo. Então, ela...

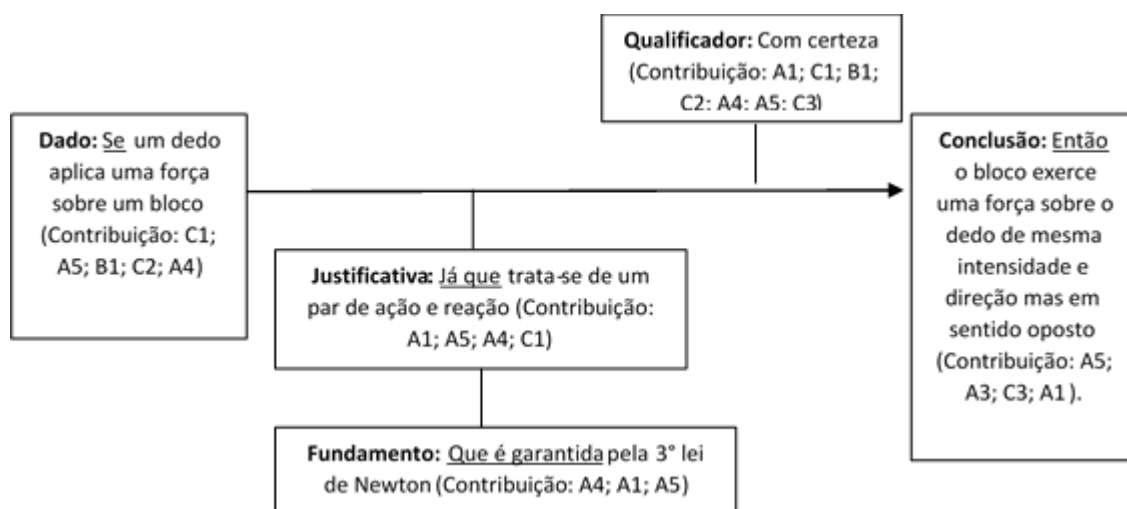
Turno 60 – C1 - Sim, mas em sentidos opostos, não é?

Turno 61 – A1 - Sentido oposto. 'Cê' 'tá' falando da força que o bloco 'tá' exercendo sobre o dedo. Não 'tá' falando sobre as duas.

Turno 62 – A4 – ‘Tá’ é em sentidos opostos.
Turno 63 – A1 – ‘Tá’ no plural.
Turno 64 – A5 - Então, o da gente também ‘tá’ errado.
Turno 65 – A1 - A gente ‘tá’ falando só da segunda força. No caso, a gente ‘tá’ falando da força que o bloco exerce sobre o dedo.
Turno 66 – C3 - Ai gente...
Turno 67 – A3 - Uma força de mesma intensidade e direção, mas em sentido oposto.
Turno 68 – A1 - Isso.
Turno 69 – C3 - Em sentido oposto.

A interação discursiva descrita no episódio acima produziu um argumento coletivo entre os grupos, construído a partir da contribuição de diferentes alunos, que pode ser representado de acordo com o modelo de Toulmin (2006) da seguinte forma:

Figura 9 - Argumento coletivo entre os grupos sobre a Terceira lei de Newton.



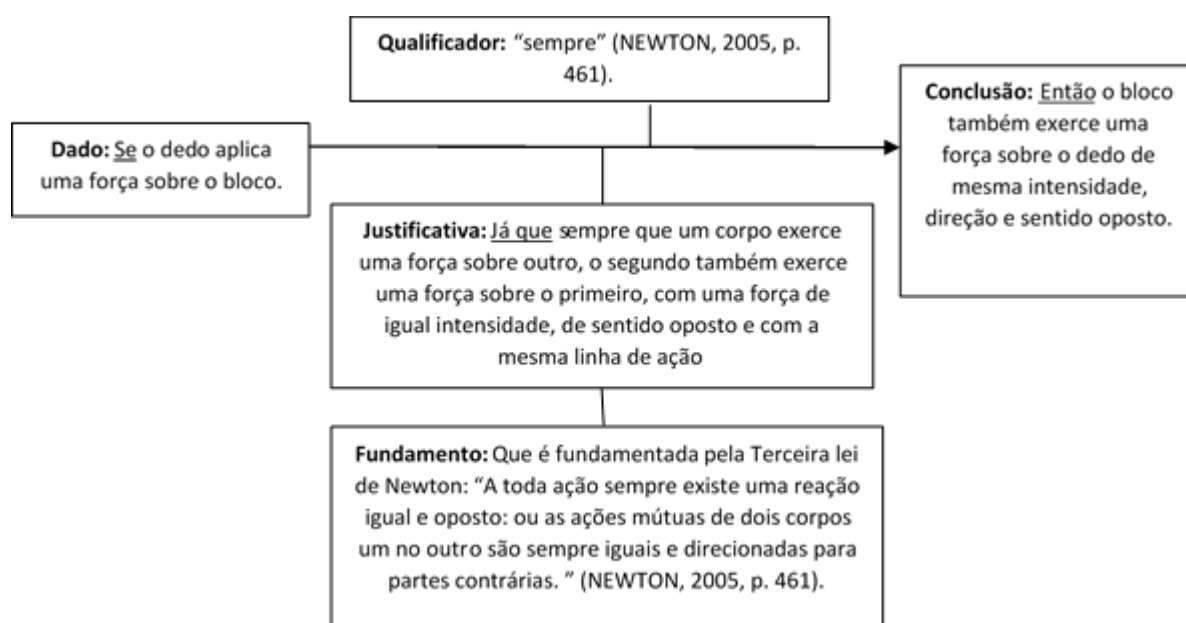
Fonte: autoria própria.

A partir dos termos marcadores (Figura 1), o argumento final, elaborado coletivamente entre os grupos, pode ser descrito da seguinte forma:

A partir dos **dados** - "Se um dedo aplica uma força sobre o bloco" – é estabelecida a **conclusão** do argumento – "o bloco exerce uma força sobre o dedo de mesma intensidade e direção, mas em sentido oposto" – sendo considerado o **qualificador**, "com certeza". A relação entre os **dados** e **conclusão** é legitimada pela **justificativa** – "Trata-se de um par ação e reação" – que tem o suporte do **fundamento** "Que é garantido pela Terceira Lei de Newton".

Para auxiliar, a partir da comparação, na avaliação do argumento construído coletivamente entre os grupos, foi construída uma representação do argumento que responde ao problema. Esse argumento foi construído pelos pesquisadores a partir do texto desenvolvido para ser utilizado na proposta de ensino (SILVA; TEIXEIRA, 2021).

Figura 10 - Argumento desenvolvido pelos pesquisadores para auxiliar, através da comparação, o argumento desenvolvido pelos estudantes.



Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com a Terceira Lei de Newton, para qualquer ação há sempre uma reação oposta em sentido e igual em intensidade e direção (NEWTON, 1999). Portanto, se você empurra, ou seja, exerce uma força sobre um objeto qualquer, esse objeto exerce uma força sobre você, isto é, se um corpo A exerce uma força, $|\vec{F}|$, sobre um segundo corpo B, esse corpo B também exerce sobre o corpo A, com uma direção oposta, uma força de magnitude igual a $|\vec{F}|$. O par de "Ação e reação" coexistem, ou seja, ambas atuam de maneira simultânea. Logo, não há uma relação de causa e efeito de uma em relação a outra, apenas uma interação mútua, simultânea, entre dois corpos.

Ao comparar o argumento da Figura 10 com o argumento da Figura 9, é possível afirmar que alguns elementos que constituem o argumento desenvolvido

coletivamente pelos alunos desempenham suas funções dentro do modelo de Toulmin (2006). A exceção envolve o **fundamento** (informações factuais e/ou conceituais que dão suporte à **justificativa**), haja vista que os alunos citam a Terceira Lei de Newton, mas não foram capazes de explicitar o seu significado no argumento final. Portanto, o argumento recebe pontuação 1 (um) no critério Coerência Formal.

O argumento, por meio da **conclusão**, responde à questão do problema de maneira correta – “o bloco exerce uma força sobre o dedo de mesma intensidade e direção, mas em sentido oposto” – logo, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Validade.

O argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Legitimidade, tendo em vista que a **justificativa** – “trata-se de um par de ação e reação” – está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve.

O argumento também recebe pontuação 2 (dois) no critério Pertencimento, visto que o **fundamento** – “3° Lei de Newton” – pertence ao contexto teórico no qual o argumento é construído.

Os alunos descrevem à **justificativa** que é suficiente para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**. Dessa forma, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Suficiência.

Apesar dos alunos não explicitarem o significado da Terceira Lei de Newton no argumento final, durante o processo argumentativo eles mobilizaram o significado da referida lei de maneira correta (T99). Logo, o **fundamento** estabelecido pelos alunos é satisfatório para dar respaldo à **justificativa**, e o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Respaldo.

Turno 99 – A1 - Porque a Terceira Lei de Newton fala que 'pra' todo par de forças, no caso, o par de ação e reação, né? 'Pra' todo par, ele vai ter a intensidade igual, direção igual e sentido oposto. Então, já que é 'pra' todo, então, vai ser sempre. Então, ele "com certeza", isso vai acontecer.

Levando em consideração a análise do episódio argumentativo referente à Terceira Lei de Newton, verificamos que a discussão entre grupos, mediada pelo professor, parece ter favorecido a ressignificação dos argumentos elaborados nos

pequenos grupos e contribuído, apesar do problema estrutural, para a construção de um argumento coletivo de boa qualidade.

Nesse episódio, o professor procurou questionar os alunos a fim de elucidar algumas das escolhas feitas por eles durante a construção do argumento (**T82**).

Turno 82 – Professor - Pronto, então, eu quero agora que vocês me expliquem, dentro daquele argumento que vocês elaboraram, o que é cada... é... trecho, ou seja, quem são os elementos desse argumento que vocês construíram? Vamos lá, quem pode começar?

Assim como destacado anteriormente, a aluna **A1** assegura que o termo "com certeza" é o **qualificador** do argumento (**T87**), afirmação reforçada pelos alunos **C4**, **A4** e **A5**. Nesse trecho, a partir da pergunta do professor (**T89**), é possível perceber que os alunos realizam uma reflexão para justificar a escolha do **qualificador**, utilizado para reforçar a conclusão do argumento.

Na sequência, a aluna **A5** afirma que o objetivo da **justificativa** é sustentar a **conclusão** (**T109**).

Turno 105 – C1 - "Já que trata-se de um par de ação e reação".

Turno 106- Professor - Quando se fala "já que trata-se de um par de ação e reação", você está se referindo a qual elemento do layout?

Turno 107 – C1 - Justificativa.

Turno 108 – Professor - E qual o papel... a função da justificativa dentro do argumento?

Turno 109 – A5 - Sustentar a conclusão.

Nessas passagens, é possível perceber, assim como observado no episódio anterior, que os alunos construíram o argumento coletivo sobre a Terceira Lei de maneira consciente. Isso significa, que foram capazes de refletir e descrever as características dos elementos constituintes do argumento. Entendemos, que isso só ocorreu a partir do entendimento e da apropriação do modelo argumentativo adotado nesse estudo, que se deu a partir do ensino explícito da argumentação.

4.2 DISCUSSÃO

Em conformidade com o objetivo do artigo, articulada às atividades pró-argumentativas que compõem a proposta de ensino, o professor adotou algumas estratégias de ensino ao longo da aplicação da mesma. Para tentar garantir que os estudantes realizassem a leitura dos textos, fornecidos com uma semana de

antecedência, o professor cobrava um resumo que era entregue uma hora antes da aula. Todavia, apesar de estarem cientes da relevância da leitura dos textos para se apropriarem do tema da aula e, conseqüentemente, para a construção de argumentos, alguns alunos não realizavam essa tarefa.

A leitura prévia é importante para que os alunos possam participar das discussões, refletir sobre o assunto, se envolver na argumentação e na elaboração de argumentos durante as atividades (SANTOS, 2017). Como resultado, utilizar conhecimento científico específico para apoiar argumentos. No contexto científico, Cross e Hickey (2008) afirmam existir uma relação direta entre as habilidades argumentativas e os conhecimentos prévios dos alunos. Esse conhecimento é fundamental para o engajamento destes em processos argumentativos (MENDONÇA; JUSTI, 2013). Em nosso estudo, a relevância da leitura prévia ficou evidente durante as atividades, tendo em vista que foi possível observar que os alunos que não realizavam essa tarefa tinham dificuldade de se envolver na discussão e, conseqüentemente, contribuir para a construção dos argumentos.

A partir do uso dos termos marcadores adotados ao longo da proposta (Figura 1), não tivemos dificuldade em distinguir os componentes dos argumentos desenvolvidos pelos alunos, diferente de outros estudos (ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; RODRÍGUEZ; DUSCHL, 2000; SÁ; QUEIROZ, 2007), que descrevem o quanto é difícil identificar os componentes do argumento nas falas dos alunos. De acordo com Sá e Queiroz (2007), a distinção entre “dados” e “justificativas” torna-se uma tarefa difícil, que impõe complicações ao processo de análise de argumentos no ensino de ciências.

O ensino com relação aos termos marcadores, que contou com o apoio do roteiro guia, entregue aos alunos na segunda semana de aula, foi importante no processo de construção de argumentos. Os alunos foram capazes de expressar os argumentos a partir desses termos, o que facilitou a análise dos pesquisadores, autores deste trabalho, que não tiveram dificuldade para identificar e, conseqüentemente, analisar os argumentos elaborados pelos alunos. No episódio 1, por exemplo, os alunos escreveram o argumento no quadro da seguinte forma:

Figura 11 - Argumento coletivo do grupo A sobre o movimento de corpos na concepção aristotélica.

Se dois corpos são abandonados da mesma altura no mesmo instante, então, com certeza, A cairá duas vezes mais rápido do que B, já que a massa de A é duas vezes maior que a massa de B, a menos que A seja composto por elemento leve e B por elemento grave, que é fundamentada pela física aristotélica.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Durante a conferência anual da Organização Mundial para Melhorar o Ensino e a Aprendizagem de Ciências por meio da Pesquisa (NARST), realizada em 2015, um grupo de pesquisadores da argumentação estabeleceu a dificuldade de distinguir os elementos de um argumento como um desafio a ser superado para analisar argumentos no ensino de ciências (HENDERSON et al., 2018). Anteriormente, ao apresentar e discutir algumas questões a respeito da argumentação no ensino de ciências, Mendonça e Justi (2013) já haviam levantado uma hipótese em forma questão: “será que a introdução de alguns elementos do ensino explícito de argumentação poderia contribuir para a distinção dos componentes do argumento?” (MENDONÇA; JUSTI, 2013, p. 208). A partir da análise realizada neste artigo, podemos inferir, a partir dos resultados alcançados, que existem indícios que o uso de termos marcadores, como uma das características do ensino no explícito da argumentação, contribui para a distinção dos componentes de um argumento e na análise destes. Por consequência, no desenvolvimento da habilidade de construir argumentos no ensino de ciências.

No decorrer do episódio 1, é possível identificar momentos pelos quais os alunos utilizam o roteiro sobre o modelo de Toulmin em meio ao processo de construção do argumento. A aluna **A1**, por exemplo, faz uma referência direta ao roteiro ao falar que: “[...] a justificativa uma vez aprovada pelos fundamentos vai autorizar a conclusão obtida a partir dos dados, sendo considerado qualificador [...]” (**T52**). Isso destaca uma necessidade inicial de utilizar esse roteiro para tirar dúvidas com relação aos elementos constituintes do modelo de Toulmin, o que não ocorreu no episódio 2. Assim, o roteiro parece ter proporcionado aos alunos a possibilidade de retomarem e refletirem sobre as funções dos elementos do modelo de Toulmin, a

fim de construírem argumentos coerentes, isto é, argumentos constituídos por elementos que desempenham suas funções.

Durante a discussão entre os grupos o professor adotou algumas estratégias para promover uma interação discursiva e incentivar o envolvimento dos alunos na construção dos argumentos. No episódio 2, por intermédio da ação do professor, os alunos realizaram a análise coletiva dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos. Como resultado, construíram um argumento coletivo para representar todos os grupos.

Em determinado trecho do episódio (**T82/84**), o professor solicitou aos alunos que descrevessem cada elemento do argumento construído de maneira coletiva. Assim, ocorreu um momento pelo qual os alunos realizaram reflexões e explicações a respeito das funções desempenhadas por cada elemento do argumento desenvolvido por eles (**T105/109**). Como resultado, os alunos expressaram as diferenças entre os elementos que compõem um argumento elaborado conforme o modelo de Toulmin de maneira correta. Isso é uma importante contribuição desse artigo, pois desenvolver a habilidade de construir argumentos, apesar de não ser garantia, “favorece a reflexão e o entendimento dos professores sobre como ensinar ciências a partir da argumentação” (IBRAIM, 2015, p. 26). Em outros termos, conhecer os elementos que compõem um argumento é um aspecto relevante para que um professor possa ensinar ciências por intermédio da argumentação.

A discussão em pequenos grupos proporcionou interações discursivas que culminaram na construção coletiva de argumentos. Consequentemente, destacou como as interações sociais permeiam a construção de conhecimento científico (VYGOTSKY, 2001). Isso pode ser evidenciado, por exemplo, a partir de uma passagem do episódio 1, em que a discussão entre os alunos está voltada para estabelecer os elementos do argumento coletivo que deve representar o grupo (**T48/T64**).

Turno 48 - A1 – ‘Pera aê’, ‘pera aê’, ‘pera aê’, porque a gente não ‘tá’ considerando A e B de massas diferentes ainda, nessa frase aí só A e B não têm massas diferentes.

Turno 49 – A5 - Não, mas a questão toda é isso.

Turno 50 - A1 - Não, mas ‘pera aí’, ‘pra’ você chegar na conclusão que um (?) que o outro você precisa disso nos dados.

Turno 51 – A5 - Mas então, a gente vai refutar isso lá na conclusão. A gente concluiu, não é isso?

Turno 52 - A1: Porque a justificativa uma vez aprovada pelos fundamentos vai autorizar a conclusão obtida a partir dos dados, sendo considerado qualificador, né?

Turno 53 – A4: Mas gente, olha o que eu vou falar 'ó', se a gente 'tá' considerando que A e B são dois corpos, a gente pode falar assim "Então, é (...)" (/).

Turno 54 - A1 - Sendo A duas vezes mais pesado do que B.

Turno 55 – A5 - Não, isso aí a gente poderia usar como refutador.

Turno 56 – A5 - Não, a gente coloca, 'pera aê', a gente coloca que o B vai cair primeiro.

Turno 57 – A1 - Qual seria a conclusão?

Turno 58 - A1 - A gente tem que usar a referência aristotélica.

Turno 59 – A4 - Exatamente, na justificativa, na justificativa que a gente usa.

Turno 60 - A1 – Então, a gente vai botar na conclusão que eles vão chegar ao mesmo tempo a não ser que, a menos que (/).

Turno 61 – A5 - A menos que.

Turno 62 – A4 - E aqui na justificativa a gente coloca "já que A tem massa" (/).

Turno 63 - A1 - Duas vezes maior que B.

Turno 64 – A4 - É. Que é mantido pela física aristotélica. Não necessariamente precisa colocar nos dados.

No trecho acima, também é possível identificar momentos pelos quais os alunos realizam um processo de reflexão sobre as funções dos elementos que devem formar o argumento do grupo, como forma de estabelecer um consenso sobre suas ideias para a construção deste. Esse trecho do episódio parece indicar que os membros do grupo A estavam argumentando sobre seus argumentos, como um exercício de meta argumentação. Assim, inferimos que os alunos só conseguiram realizar esse processo em decorrência do ensino explícito da argumentação, que realizou uma instrução sobre como construir argumentos segundo o modelo de Toulmin (2006), da relação entre os elementos que constituem um argumento e suas respectivas funções.

A discussão em pequenos grupos enriqueceu a discussão e proporcionou um engajamento em interações argumentativas, o que favoreceu a construção de argumentos sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton. Como consequência, parece ter contribuído para envolver os futuros professores de Física em um processo de raciocínio, comum no desenvolvimento do conhecimento científico, que ocorre por intermédio da discussão e do conflito (ARCHILA, 2015; LEITÃO, 2011; RUIZ-ORTEGA; ALZATE; BARGALLÓ, 2012). Esse resultado é importante, tendo em vista que destaca que o uso da argumentação no ensino de ciências advém por justificativas de natureza epistemológica, como um mecanismo que possibilita a ocorrência de discussões e conflitos, situações comuns no processo de produção das ciências, tal qual, cognitiva, que contribui na aprendizagem de conceitos científicos (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000; ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004; IBRAIM, 2018).

Os critérios adotados foram capazes de realizar uma análise pormenorizada da qualidade dos argumentos desenvolvidos na proposta de ensino. Por intermédio destes, foi possível concluir que alguns dos componentes dos argumentos desenvolvidos pelos alunos desempenham suas funções estruturais. A partir da análise do conteúdo dos argumentos, constatamos que os alunos desenvolveram argumentos capazes de responder aos problemas propostos. Para isso, utilizaram conhecimento científico específico para apoiar a conclusão do argumento, isto é, os fundamentos fornecidos pelos alunos levam em conta o contexto teórico no qual o argumento é construído, além de serem satisfatórios para respaldar a justificativa.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o propósito de contribuir para a discussão sobre o ensino de ciências fundamentado pela argumentação, desenvolvemos e aplicamos uma proposta de ensino com o intuito de investigar como o ensino explícito da argumentação pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e as ideias aristotélicas de movimento, em um curso de formação inicial de professores de Física. Diante disso, este artigo estabeleceu o seguinte princípio de *design*: Ensino explícito da argumentação propicia melhor habilidade de construir argumentos sobre conceitos científicos na formação inicial de professores de Física.

O modelo de Toulmin (2006) foi adotado na construção de argumentos e como referencial teórico de análise. A partir dele foi possível analisar o papel desempenhado pelos elementos que constituem os argumentos construídos pelos alunos. Para analisar o conteúdo do argumento e o contexto teórico em que são produzidos, desenvolvemos critérios de análise e adaptamos outros da ferramenta analítica desenvolvida por Penha e Carvalho (2015).

A análise dos argumentos desenvolvidos pelos alunos esteve direcionada a investigar como uma proposta de ensino, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação, pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton, de estudantes do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública do interior da Bahia. Em síntese, diante da análise realizada em nosso

artigo, podemos afirmar que existem indícios que o ensino explícito da argumentação pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos a partir da:

- Instrução de como construir argumentos de acordo com o modelo de Toulmin (2006), que envolve conhecer e entender a função desempenhada por cada elemento do modelo;
- Leitura prévia dos textos de natureza histórica;
- Utilização de termos marcadores capazes de facilitar a identificação dos elementos do argumento expresso pelos alunos, de maneira oral ou escrita;
- Adoção de um roteiro guia sobre o modelo de argumento de Toulmin (2006);
- Discussão e construção de argumentos em pequenos grupos;
- Discussão e construção de argumentos entre os grupos com mediação do professor;
- Mediação do professor, que deve encorajar os alunos e criar oportunidades para que estes possam se engajar em processos argumentativos voltados para a construção de argumentos.

Reconhecemos que essas características apesar de serem importantes para o desenvolvimento da habilidade construir argumentos sobre ciências, a partir do ensino explícito, não se configuram como únicas.

A análise da qualidade dos argumentos elaborados pelos estudantes nos permite afirmar que a proposta de ensino, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação, parece ter contribuído para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos, isto é, para a capacidade de construir e pronunciar argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e as ideias aristotélicas de movimento. Isso significa, de modo geral, que os elementos que compõem os argumentos elaborados pelos estudantes cumprem suas funções. Nesse contexto, destacamos uma exceção com relação ao fundamento. Ademais, também salientamos que esses estudantes mobilizaram conhecimento científico capaz de apoiar a conclusão do argumento, levando em consideração o contexto teórico em que são construídos.

Na construção de argumentos sobre ciências, o fundamento estabelece um tipo de credencial para o estabelecimento da justificativa, isto é, são conceitos que dão suporte à justificativa. A partir da análise dos dados, observamos que os alunos, apesar de expressarem o fundamento no decorrer do processo de construção de seus argumentos, não foram capazes de expressar a lei e/ou o princípio que fundamentava o argumento final. Isso ocorreu, segundo nossa interpretação, a partir da forma como os alunos entenderam a função do fundamento. Para estes, era necessário apenas citar a lei e/ou o princípio no argumento final, sem descrever o seu teor. Esse resultado está diretamente relacionado com o ensino explícito da argumentação realizado na proposta de ensino, isto é, parece representar uma falha no ensino explícito da argumentação, que não conseguiu deixar claro a função desse elemento no argumento. Diante disso, reconhecemos que essa interpretação equivocada poderia ter sido abordada no *feedback* fornecido pelo professor ao final das aulas. Assim, o princípio de *design* que orienta esse artigo deve ser aprimorado para a realização de um novo ciclo de prototipagem.

Em nosso estudo, além das instruções com relação aos elementos que constituem um argumento e suas funções, os estudantes aplicaram o modelo argumentativo de Toulmin (2006) em atividades pró-argumentativas ao longo de toda a aplicação da proposta de ensino. Portanto, diante da análise dos argumentos desenvolvidos pelos alunos, podemos afirmar que existem indícios que o tempo de aplicação da intervenção, que ocorreu ao longo de um semestre regular do curso de licenciatura em Física de uma universidade pública do interior baiano, associado ao ensino explícito sobre o modelo adotado, tenha favorecido o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos.

Por meio do diário de bordo, é possível inferir que o uso do roteiro no início da proposta, por exemplo, foi abandonado no decorrer da aplicação desta. Todavia, durante a aplicação da proposta de ensino, os alunos continuavam refletindo para construir argumentos de maneira consciente, sem a necessidade do roteiro para retirar dúvidas sobre o papel desempenhado por cada elemento do modelo de argumento de Toulmin (2006).

Uma importante implicação de nosso artigo, que realizou o ensino explícito da argumentação, conectada com diferentes atividades pró-argumentativas ao longo de

toda a aplicação da proposta de ensino, que ocorreu durante um semestre regular de um curso de Licenciatura em Física, é a oportunidade que os futuros professores tiveram de refletir a respeito dos seus próprios argumentos. Assim, o ensino explícito gerou momentos de metacognição, isto é, possibilitou que os alunos refletissem sobre seus próprios argumentos. Diante disso, o princípio de *design* da proposta de ensino analisada neste artigo deve ser aprimorada para ensino reflexivo, pois, além de um ensino explícito dos elementos e funções do modelo de argumento adotado, proporcionou aos alunos a oportunidade de refletirem sobre seus próprios argumentos. Portanto, esse é um resultado importante de nosso artigo, que promove o aprimoramento do princípio de *design* da proposta de ensino que será submetida a outro ciclo de prototipagem em trabalhos futuros.

Como a proposta foi aplicada ao longo de um semestre regular, foi possível realizar reflexões contínuas e alterações da mesma durante esse período. Ademais, ao final de toda atividade o professor fornecia um *feedback*, com o objetivo de realizar uma reflexão sobre a estrutura e o conteúdo científico dos argumentos construídos pelos alunos. Assim, os alunos tiveram a oportunidade de avaliar todos os argumentos desenvolvidos na proposta. Assim, inferimos que a possibilidade de aplicar uma proposta de ensino com essas características ao longo de um semestre regular de um curso de Licenciatura em Física foi um fator relevante para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos.

O tempo didático representa um desafio de cunho pedagógico, que depende do ambiente de ensino em que se desenvolve a argumentação. Assim sendo, a correspondência saber/duração é fundamental para o processo didático e de grande importância para efetivar o uso da argumentação no ensino de ciências, que também se desenvolve a partir da prática (KUHN, 1993). Em vista disso, acreditamos que os efeitos de uma intervenção didática, assim como essa proposta de ensino, podem ser maiores quando o tempo de aplicação for maior.

Ampliar e melhorar a utilização da argumentação no ensino de ciências, em especial no Ensino de Física, envolve, também, o desenvolvimento de materiais curriculares e de políticas públicas voltadas para a formação de professores. O curso de formação deve possibilitar que os futuros professores compreendam estratégias didáticas para utilizar e ensinar ciências a partir da argumentação.

Consequentemente, contribuir para tornar a argumentação uma técnica de discurso, que deve ser explicitamente ensinada e amplamente utilizada no ensino de ciências.

O qualificador é uma condição específica no argumento a partir da qual se pode considerar como válida a conclusão (TEIXEIRA et al., 2015). Todavia, no ensino explícito do modelo de Toulmin (2006), o qualificador esteve associado apenas como um termo modal, um advérbio, utilizado para moderar e/ou reforçar a conclusão, que apresenta condições pelas quais esta é válida. Essa interpretação é limitada²³, pois o qualificador deve contemplar outro aspecto além deste, a saber: condições necessárias para a validade das conclusões, que não são, necessariamente, expressas apenas por um termo adverbial (PENHA, 2012).

Uma outra limitação do trabalho é a dificuldade de inferir sobre como os alunos desenvolvem a habilidade de construir argumentos de maneira individual a partir da interação com seus colegas. Desse modo, pesquisas futuras precisam investir em estratégias para esse tipo de investigação. Para mais, embora existam indícios que a proposta de ensino tenha contribuído para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos, identificamos a necessidade de desenvolver estudos futuros voltados para a aprendizagem de conteúdos científicos a partir da argumentação.

Diante da análise realizada, concluímos que o princípio de *design* investigado neste artigo tem potencial de contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos. Assim, diante da identificação das limitações de nosso estudo, esperamos aprimorar o princípio de *design* investigado neste artigo com o objetivo de orientar novos ciclos de prototipagem. Por fim, esperamos que o presente trabalho contribua para aprofundar a discussão sobre os benefícios do ensino explícito da argumentação para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre ciências. Além do mais, almejamos que essa proposta possa ser adaptada por outros pesquisadores, para ser utilizada e investigada em diferentes ambientes de ensino e aprendizagem.

²³ Para Penha (2012), essa interpretação recorrente em trabalhos de pesquisadores brasileiros, ocorre devido a uma tradução equivocada de alguns termos traduzidos na versão brasileira do *Uso dos Argumentos* (2006). Para uma análise pormenorizada sobre esse problema de interpretação, ver Penha (2012, p. 98).

REFERÊNCIAS

ABI-EL-MONA, Issam; ABD-EL-KHALICK, Fouad. Argumentative Discourse in a High School Chemistry Classroom. **School Science and Mathematics**, v. 106, n. 8, p. 349-361, 2006.

ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. Revisiting school scientific argumentation from the perspective of the history and philosophy of science. *In*: MATTHEWS, Michael R. (ED.) **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, 2014. p. 1443–1472.

ARCHILA, Pablo Antonio. Using History and Philosophy of Science to Promote Students' Argumentation: A Teaching–Learning Sequence Based on the Discovery of Oxygen. **Science & Education**, v. 24, p. 1201–1226, 2015.

ARCHILA, Pablo Antonio; MOLINA, Jorge; MEJÍA, Anne-Marie Truscott de. Using formative assessment to promote argumentation in a university bilingual science course. **International Journal of Science Education**, 40, p. 1669–1695, 2018.

BILLIG, Michael. **Arguing and thinking**: a rhetorical approach to social psychology. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

BOTTCHER, Florian; MEISERT, Anke. Argumentation in Science Education: A Model-based Framework. **Science & Education**, v. 20, n. 2, p. 103-140, 2011.

BOSS, Sergio Luiz Bragatto. Considerações sobre a produção e o uso de material histórico em sala de aula: dificuldades de leitura e entendimento de traduções de fontes primárias. *In*: CAMARGO, Sérgio. (Org.). **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**. 1 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. p. 161-174.

BOTTCHER, Florian; MEISERT, Anke. Argumentation in Science Education: A Model-based Framework. **Science & Education**, v. 20, n. 2, p. 103-140, 2011.

BRASIL. **Base Nacional Curricular Comum**: Educação é a Base. Brasília: Ministério de Educação, 2020.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Formação de professores de ciências**: tendências e inovações. 10 ed. São Paulo: Cortez, 2011.

CHEVALLARD, Yves. **La transposición didáctica**: del saber sabio al saber enseñado. Buenos Aires: Aique, 1991.

COHEN, Jerome Bernard. **O nascimento de uma nova Física**. Tradução: Maria Alice Gomesda Costa. Lisboa: Gradiva, 1988. 305p.

CROSS, Dionne; HICKEY, Daniel T.; TAASOBSHIRAZI, Gita; HENDRICKS, Sean;. Argumentation: A Strategy for Improving Achievement and Revealing Scientific Identities. **International Journal of Science Education**, v. 30, n. 6, 18 May, p. 837–861, 2008.

DAWSON, Vaile Maree; VENVILLE, Grady. Teaching strategies for developing students' argumentation skills about socioscientific issues in high school genetics. **Research in Science Education**, v. 40, n.2, p. 133-148, 2010.

DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul; OSBORNE, Jonathan. Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. **Science Education**. v. 84, n. 3, p. 287-312, 2000.

DRIVER, Rosalind; ASOKO, Hilary; LEACH, John; MORTIMER, Eduardo Fleury; SCOTT, Phil. Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. **Educational Researcher**, v. 23, n. 7, p. 5-12, 1994.

DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul. Establisching the norms of a scientific argumentation in classrooms. **Paper prepared for presentation at the ESERA Conference**, 2 – 6. Rome, september, 1997.

ERDURAN, Sibel; SIMON, Shirley; OSBORNE, Jonathan. Taping into Argumentation: Developments in the Application of Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. **Science Education**, v. 88, n. 6, p. 915-933, 2004.

ERDURAN, Sibel; OZDEM, Yasemin.; PARK, Jee-Young. Research trends on argumentation in science education: a journal content analysis from 1998-2014. **International Journal of STEM Education**, v. 2, n. 5, p. 1-12, 2015.

FREIRE-JÚNIOR, Olival. A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências. *In*: SILVA Filho, Waldomiro J. (org.). **Epistemologia e Ensino de Ciências**. Salvador: Arcádia, 2002. p. 13-30.

HAMALOSMANOGLU, Mustafa; VARINLIOGLU, Serdar. The Effects of Argumentation Activities on Seventh Grade Students' Environmental Attitudes and Their Knowledge Level. **Science Education International**, v. 30, n. 3, p. 158-168, 2019.

HENDERSON, Bryan; MCNEILL, Katherine L.; GONZÁLEZ-HOWARD, Maria; CLOSE, Kevin; EVANS, Mat. Key challenges and future directions for educational research on scientific argumentation. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 55, n. 1, p. 5-18, 2018.

IBRAIM, Stefannie de Sá. **Análise das Influências do Ensino Explícito de Argumentação nos Conhecimentos Docentes sobre Argumentação de Professores de Química em Formação Inicial**. 253f. 2015. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

IBRAIM, Stefannie de Sá; JUSTI, Rosária. Teachers' knowledge in argumentation: contributions from a explicit teaching in an initial teacher education programe. **International Journal of Science Education**, v. 38, p. 1926-2025, 2016.

_____. Influências de um ensino explícito de argumentação no desenvolvimento dos conhecimentos docentes de licenciandos em Química. **Ciênc. Educ. Bauru**, v. 23, n. 4, p. 995-1015, 2017.

_____. Ações docentes favoráveis ao ensino envolvendo argumentação: estudo da prática de uma professora de química. **Investigações em Ensino de Ciências (ONLINE)**, v. 23, p. 311-330, 2018.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar. Diseño curricular: indagación y razonamento com el lenguaje de las ciências. **Enseñanza de las Ciencias**, v.16, n.2, 1998.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; RODRÍGUEZ, Anxela Bugallo; DUSCHL, Richar A. "Doing the Lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics. **Science Education**, v. 84, n. 6, p. 757-792, 2000.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; PUIG, Blanca. Argumentacions y evaluación de explicaciones causales em ciências: **El caso de la inteligência. Alambique**, 63, p. 11-18, 2010.

KNIPPING, Christine; REID, David A. **Argumentation Analysis for Early Career Researchers**. *Researchers in Mathematics Education*, p. 3-31, 2019.

KUHN, Deanna. Science As Argument: Implications For Teaching And Learning Scientific Thinking. **Science Education**, v. 3, n. 77, p. 319-337. 1993.

LEMKE, Jay L. **Talking Science: language, learning and values**. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 2000.

LICHTMAN, Marilyn. **Qualitative research in educacion: a user's guide**. Thousand Oaks: Sage, 2010.

LUCIE, Pierre. A Cosmologia e a Física Aristotélica. *In: A Física Básica*. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

NEWTON, Isaac. **The principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy**. Trad. COHEN, Jerome Bernard; WHITMAN, Anne Berkeley, University of California Press, 1999.

MCNEILL, Katherine L.; GONZÁLEZ-HOWARD, María; KATSH-SINGER, Rebecca; LOPER, Suzanna. Moving beyond pseudo argumentation: Teachers' enactments of an educative science curriculum focused on argumentation. **Science Education**, v. 101, n. 3, p. 426–457, 2017.

MENDONÇA, Paula Cristina; JUSTI, Rosária. Ensino-Aprendizagem de Ciências e Argumentação: Discussões e Questões Atuais. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 1, 2013.

_____. An instrument for analysing arguments produced in modeling-based chemistry lessons. **Journal of Research in Science Teaching (Print)**, v. 51, p. 192-218, 2014.

OLIVEIRA, Marta Khol. **VYGOTSKY: Aprendizado e desenvolvimento. Um processo sócio-histórico**. 5° ed. São Paulo: Scipione, 2010.

PEDUZZI; Luiz Orlando de Quadro. Sobre a utilização didática da História da Ciência. *In: PIETROCOLA, Mauricio (Org.) Ensino de Física: conteúdo,*

metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PENHA, Sidnei Percia da. **Atividades Sociocientíficas em sala de aula de física: as argumentações dos estudantes.** 485f. 2012. Tese (Doutorado em Educação), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

_____. CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Proposição de uma Ferramenta Analítica para avaliar a Qualidade da Argumentação em Questões Sociocientíficas. *In: X ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 2015, Águas de Lindóia. Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, 2015.

PLOMP, Tjeerd. Educational design research: An introduction. *In: PLOMP, Tjeerd; NIEVEEN, Nienke. (Eds.). An introduction to educational design research. Enschede: SLO – Netherlands Institute for Curriculum Development.* 2009. p. 9-35.

RUIZ-ORTEGA, Francisco Javier; ALZATE, Oscar Eugenio Tamayo; BARGALLÓ, Conxita Márquez. Los episodios argumentativos y las preguntas, como indicadores de procesos argumentativos en ciencias. **Revista EDUCyT, Extraordinario**, p. 229-244, 2012.

_____. La argumentación en clase de ciencias, un modelo para su enseñanza. **Educação e Pesquisa**, v. 41, n. 3, p. 629-646, 2015.

RUIZ-ORTEGA, Francisco Javier; MÁRQUEZ, Conxita; BADILLO, Edelmira; RODAS RODRÍGUEZ, José Mauricio. Desarrollo de la mirada profesional sobre la argumentación científica en el aula de secundaria. **Revista Complutense de Educación**, v. 29, n. 2, p. 559-576, 2018.

SAMPSON, Victor; CLARK, Douglas B. Assessment of the Ways Students Generate Arguments in Science Education: Current Perspectives and Recommendations for Future Directions. **Science Education**, p. 447 – 472, 2008.

SANTOS, Josebel Maia dos. **O ensino da gravitação universal de Newton através da História da Ciência e da argumentação: desenvolvimento e análise de uma sequência didática.** 239f. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2017.

SILVA, Eider de Souza; TEIXEIRA, Elder Sales; PENIDO, Maria Cristina Martins. Análise de propostas didáticas de física orientadas por abordagens históricas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 766-804, dez. 2018.

SILVA, Eider de Souza; TEIXEIRA, Elder Sales. **O papel da terceira lei de newton no desenvolvimento do conceito de interação mútua presente na teoria da gravitação universal.** 2021a. (Artigo referente ao primeiro capítulo desta tese, que ainda não foi submetido para publicação).

TEIXEIRA, Elder Sales; NETO, Climério. Paulo da Silva Neto; FREIRE JR., Olival; GRECA, Ileana Maria. A Construção de uma Argumentação sobre a Síntese Newtoniana a partir de Atividades em Grupos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 61-95, 2010c.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria.; FREIRE JR., Olival. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física. *In*: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; HIDALGO, J. M. (Orgs.) **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal, Editora da UFRN, 2012b, cap. 1, p. 9-40.

_____. La Enseñanza de la Gravitación Universal de Newton Orientada por la Historia y la Filosofía de la Ciencia: Una Propuesta Didáctica con un Enfoque en la Argumentación. **ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**, v. 33, n. 1, p. 205-223, 2015.

TOULMIN, Stephen. **Os Usos do Argumento**. Trad. Reinaldo Guarany. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

VIEIRA, Rodrigo Drumond; NASCIMENTO, Sylvania Souza do. A argumentação no discurso de um professor e seus estudantes sobre um tópico de mecânica newtoniana. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 174-193, 2007.

_____. A argumentação em sala de aula de física: Limites e Possibilidades de Aplicação do Padrão de Toulmin. *In*: NASCIMENTO, Sylvania Souza do; PLANTIN, Christian. (Org.). **Argumentação e Ensino de Ciências**. Curitiba: CRV, 2009a. p. 17-37.

VYGOTSKY, Lev Semionovitch. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001. p. 486.

VYGOTSKY, Lev Semionovitch. **A formação social da mente**. Ed. Martins Fontes, São Paulo, 2008.

ZEMPLÉN, Gabor A. **History of science and argumentation in science education: joining forces?** *In*: KOKKOTAS, P. V.; MALAMITSA, K. S. e RIKAKI, A. A. (Eds.). *Adapting historical knowledge production to the classroom*. Rotterdam: Sense Publishers, 2011, p. 129-140.

ZOHAR, Anat; NEMET, Flora. **Fostering Student's Knowledge and Argumentation Skills Through Dilemmas in Human Genetics**. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), p. 35-62, 2002.

**CAPÍTULO 3 - O PAPEL DA ARGUMENTAÇÃO NO PROCESSO DE
APRENDIZAGEM DA TERCEIRA LEI E NEWTON**

O PAPEL DA ARGUMENTAÇÃO NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM DA TERCEIRA LEI E NEWTON

Resumo: Embora haja um crescimento significativo no número de pesquisas a respeito da relação entre o ensino de Ciências e a argumentação, poucos trabalhos investigam o papel dessa interface na aprendizagem de conceitos científicos. Diante disso, o objetivo deste artigo é investigar como uma Sequência Didática, caracterizada pelo uso didático da argumentação, pode contribuir para o processo de aprendizagem de estudantes de um curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana a respeito da Terceira Lei de Newton. O modelo de argumento de Toulmin (2006) foi adotado como referencial teórico de análise e como modelo para construção de argumentos. Os dados foram coletados por meio de diferentes situações, a saber: a) pré-teste, b) gravação em vídeo das interações durante as atividades em pequenos grupos, c) discussão entre grupos com mediação do professor e d) elaboração de argumentos individuais feitos pelos futuros professores, tanto de maneira coletiva quanto individual. Como resultado da análise de dados, é possível concluir que a construção coletiva de argumentos, que envolveu a discussão em pequenos grupos e entre grupos, contribuiu para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton.

Palavras-chave: Argumentação; Processo de aprendizagem; Terceira Lei de Newton.

1. INTRODUÇÃO

Como um dos objetivos centrais da educação científica, a argumentação tem ganhado destaque da área de pesquisa em ensino de Ciências (HAMALOSMANOGLU; VARINLIOGLU, 2019). O desenvolvimento do letramento científico, voltado para um conhecimento crítico e coerente das Ciências; a aprendizagem de conceitos científicos; o desenvolvimento da prática epistêmica das Ciências; e a apropriação do discurso científico; etc., são algumas das contribuições atribuídas atualmente ao uso da argumentação no ensino de Ciências (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000; HAMALOSMANOGLU; VARINLIOGLU, 2019; MCNEILL et al., 2017; RUIZ-ORTEGA; ALZATE; BARGALLÓ, 2015).

De acordo com a literatura especializada, o engajamento na argumentação, pautada na utilização de conhecimento científico e no conflito de opiniões, pode possibilitar a aprendizagem de conceitos científicos (BERLAND; REISER, 2010; KUHN, 1993; MENDONÇA; JUSTI, 2013; MUNFORD; TELES, 2015; OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004; PORTO, 2018; RUIZ-ORTEGA et al., 2018). Todavia, apesar de haver uma literatura que afirma que a argumentação favorece a

aprendizagem conceitual no ensino de Ciências, poucos estudos se debruçam em investigar como a argumentação é capaz de oportunizar esse tipo de aprendizagem (BERLAND; MCNEILL, 2010; HENDERSON et al., 2018). Portanto, existe a necessidade de investigações a respeito do papel da argumentação na aprendizagem conceitual sobre Ciências, em particular sobre a Terceira Lei de Newton. Assim, o objetivo deste artigo é investigar como uma Sequência Didática, caracterizada pelo uso didático da argumentação, pode contribuir no processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton de estudantes de um curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana. A Sequência Didática foi desenvolvida a partir do uso didático da História das Ciências e da argumentação. Todavia, em decorrência do escopo do trabalho e da dificuldade de inferir a respeito das contribuições do uso didático da História das Ciências para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton, apenas o papel da argumentação será objeto de investigação deste artigo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PROCESSO DE APRENDIZAGEM CONCEITUAL POR MEIO DA ARGUMENTAÇÃO

A linguagem é o principal mediador no processo educacional (MARTINS et al., 2016; MORTIMER; SCOTT, 2002; VIEIRA; NASCIMENTO, 2009). De acordo com a perspectiva histórico-cultural, o sujeito se constitui a partir do desenvolvimento da linguagem (exterior) e do pensamento (interior) (OLIVEIRA, 2010; VYGOTSKY, 1987, 2001). Nesse contexto, o processo de aprendizagem de conceitos, entendido como um sistema de relações e generalizações contidas nas palavras, além de ser determinado por um contexto histórico-cultural, ocorre a partir de interações sociais intermediados pela linguagem (REGO, 2002; VYGOTSKY, 2001). Assim, a produção de conhecimento a partir do uso da linguagem se conecta com o envolvimento dos estudantes na argumentação sobre Ciências, pois a elaboração de argumentos se desenvolve a partir de interações sociais mediadas pela linguagem.

O processo de aprendizagem é resultado de um mecanismo gradual da internalização de conceitos, isto é, da construção de significados, que está diretamente ligado, em uma via de mão dupla, ao desenvolvimento cognitivo dos

sujeitos (VYGOTSKY, 2001). De acordo com Pino (1993), o sujeito aprende ao assimilar signos e significados, sendo capaz de aplicá-los em diferentes contextos. No Ensino de Física, o processo de aprendizagem de conceitos por meio da argumentação pode ser relacionado ao ato de assimilação de signos (expressões, conceitos, significados etc.), culturalmente aceitos pela comunidade científica (BARBOSA; BATISTA, 2018), que são aplicados e ressignificados ao serem empregados na construção de argumentos voltados para resolver problemas sobre determinado fenômeno natural. Assim, o sujeito tem a oportunidade de aprender quando toma consciência de suas ações por meio da significação dos conhecimentos sistematizados, que ocorrem a partir das interações sociais com outros sujeitos (MACÊDO, 2015).

O ensino de ciências por argumentação pode criar condições para o processo de aprendizagem de conceitos científicos. Isso ocorre ao passo que o ato de argumentar e construir argumentos sobre Ciências, a partir da mobilização de conhecimento científico específico, está relacionada com uma ação cognitiva do sujeito, tendo em vista que “[...] um pensamento não coincide não só com a palavra, mas também com os significados das palavras e que a transição do pensamento para a palavra passa pelo significado”. (VYGOTSKY, 2001, p. 479). Portanto, a argumentação pode dar suporte e expor diferentes formas de pensamento pelos quais os estudantes expressam um conceito a partir de processos de interações sociais intermediados pela linguagem. Assim, é uma ferramenta relevante na reflexão e na avaliação da aprendizagem no ensino de Ciências (SANTOS, 2017; SIMON; ERDURAN; OSBORNE, 2006).

Para que o ensino de Ciência fundamentado pela argumentação contribua para o processo de aprendizagem de conceitos é necessário que oportunidades sejam criadas. Essas oportunidades estão relacionadas ao ambiente sociocultural no qual o sujeito está inserido e com o papel do professor, além do envolvimento de outros sujeitos, que também integram este ambiente (MACÊDO, 2015; OLIVEIRA, 2010; VYGOTSKY, 2001). Consoante com essa perspectiva, o professor é fundamental em orientar o ensino de Ciências fundamentado pela argumentação, isto é, na criação e na manutenção de um ambiente profícuo para o desenvolvimento de processos argumentativos e na construção de argumentos em sala de aula (MORTIMER; SCOTT, 2002; VIEIRA; NASCIMENTO, 2009; ZEMPLÉN, 2011).

Para aprender Ciências é preciso falar, escrever, raciocinar em frases, orações e parágrafos de linguagem científica (LEMKE, 1990), isto é, é preciso argumentar sobre Ciências em diferentes contextos, mobilizando os conceitos científicos necessários para explicar determinado fenômeno. Isto posto, reconhecemos, em consonância com a perspectiva histórico-cultural, que a geração de conhecimento alicerçado pelo uso da linguagem possibilita a articulação da argumentação com a aprendizagem de conceitos científicos, que se dá a partir de interações sociais (VYGOTSKY, 2001).

Diante dessa discussão, entendemos a aprendizagem como um processo de internalizações de conceitos. No caso particular dos conceitos envolvidos na Terceira Lei de Newton, a aprendizagem é caracterizada pela capacidade de mobilizar a Terceira Lei de Newton de maneira adequada para resolver problemas que abordam esse tema em diferentes contextos e/ou situações. Como um processo, a aprendizagem pode ser plena ou parcial. Diante disso, a internalização de conceitos pode ser avaliada em diferentes níveis (Quadro 1), que dependem da quantidade de características e termos científicos que o sujeito consegue mobilizar ao resolver problemas sobre a Terceira Lei de Newton.

Quadro 1 - Nível de características mobilizadas da Terceira Lei de Newton.

Nível	Descrição:
0	Nenhuma característica é mobilizada de maneira correta
1	Uma característica é mobilizada de maneira correta
2	Duas características são mobilizadas de maneira correta em diferentes contextos
3	Três características são mobilizadas de maneira correta em diferentes contextos
4	Quatro características são mobilizadas de maneira correta em diferentes contextos
5	Cinco características são mobilizadas de maneira correta em diferentes contextos
6	Todas as características são mobilizadas de maneira correta em diferentes contextos

Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com a Terceira Lei de Newton, sempre que um corpo exerce uma força sobre outro, o segundo também exerce uma força sobre o primeiro, formando um par de forças de “ação e reação”. Assim, toda ação resulta em uma reação oposta em sentido e igual em intensidade e direção (NEWTON, 1999). Esse par de forças coexiste, isto é, não há uma diferença temporal de causa e efeito de uma em relação a outra, apenas uma interação mútua, simultânea, entre dois corpos. Esse par de forças atua sempre em corpos diferentes. Como resultado, não pode produzir

uma condição de equilíbrio. Ademais, os efeitos do par das forças “ação e reação” dependem das massas dos corpos que estão interagindo (NEWTON, 1999; SILVA; TEIXEIRA, 2021a¹).

De maneira condensada, apresentamos as características da Terceira Lei de Newton que esperamos que alunos internalizem, a partir da aplicação da Sequência Didática:

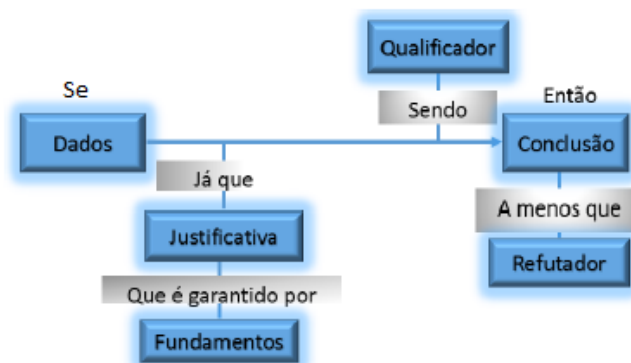
- O par das forças “ação e reação” possui a mesma intensidade;
- O par das forças “ação e reação” atua na mesma linha de ação, ou seja, na mesma direção;
- O par das forças “ação e reação” atua em sentidos opostos;
- O par das forças “ação e reação” atua simultaneamente, isto é, não existe uma diferença temporal de causa e efeito de uma em relação a outra, apenas uma interação mútua, simultânea, entre dois corpos;
- O par de forças “ação e reação” atua em corpos diferentes e não produz uma condição de equilíbrio;
- Os efeitos das forças de “ação e reação” depende das respectivas massas dos corpos envolvidos na interação.

2.2 ARGUMENTAÇÃO E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Em meio ao processo de desenvolvimento de explicações, leis e teorias sobre o mundo da natureza, os cientistas argumentam de maneira semelhante a forma pela qual os elementos do modelo de argumento de Toulmin (2006) se relacionam (ADÚRIZ-BRAVO, 2014; SIMON; ERDURAN; OSBORNE, 2006). Portanto, esse modelo será adotado para a construção de argumentos sobre a Terceira Lei de Newton, isto é, como um modelo compatível ao gênero discursivo das Ciências (Figura 1).

¹ A referência trata do artigo que corresponde ao capítulo 1 (um) da tese, que ainda não foi submetido para publicação.

Figura 1: Modelo de argumento de Toulmin (2006).



Fonte: Adaptado de Santos (2017, p. 53).

Em conformidade aos referenciais teóricos adotados, neste artigo um argumento é definido como o resultado final da articulação funcional entre dados, justificativas, fundamentos, qualificador e refutador para apoiar uma conclusão acerca de um problema específico (EL-MONA; ABD-KHALICK, 2006; SAMPSON; CLARK, 2008). A argumentação é definida como o modo pelo qual os alunos, de maneira individual ou coletiva, buscam relacionar dados, justificativas, fundamentos, qualificador e refutador para apoiar uma conclusão. A argumentação é um processo permeado por pontos de vistas divergentes, que favorece a discussão e o engajamento dos estudantes em interações argumentativas. Assim, a argumentação é o processo que leva a construção de um argumento (produto final), que é capaz de responder um problema a partir da articulação entre dados, justificativas, fundamentos, qualificador e refutador que apoiam uma conclusão.

Um episódio argumentativo é um evento, definido em um intervalo de tempo, em que ocorreu a construção individual ou coletiva de um argumento, que, no mínimo, envolve uma conclusão, que pretende responder a um problema, apoiada em dado e justificativa. Perguntas pró-argumentativas são caracterizadas pela sua capacidade de promover uma interação discursiva, de estimular a discussão, fomentar a reflexão pelos estudantes sobre o tema e possibilitar a construção de argumentos (SILVA; TEIXEIRA, 2021b). Esses tipos de perguntas, podem favorecer o engajamento dos alunos na discussão sobre determinado problema científico. Assim, deve-se envolvê-los em uma interação discursiva para o estabelecimento de dados, justificativas, fundamento, qualificador e refutador para apoiar a conclusão de um argumento. Atividades pró-argumentativas são todo e qualquer tipo de atividade

que possibilitam uma interação discursiva que gera uma oportunidade para a construção, de maneira individual ou coletiva, de argumentos.

2.3 QUALIDADE DO ARGUMENTO

A qualidade do argumento está diretamente relacionada com o grau de aprendizagem sobre o tema pelo qual se constrói um argumento, tendo em vista que construímos argumentos de qualidade quando somos capazes de expressar uma compreensão articulada e complexa sobre um conceito. Isso só ocorre quando definimos um conceito de maneira clara e inteligível e atribuímos sentido e significado aos mesmos (PORTO, 2018; SOMPSON; CLARK 2008). Assim, acreditamos que a capacidade de elaborar argumentos sobre Ciências, a partir da mobilização de conhecimento científico específico, que leva em consideração o contexto teórico no qual o argumento é construído, é um indício do processo da aprendizagem de conceitos.

Para analisar a qualidade dos argumentos desenvolvidos pelos alunos desenvolvemos critérios de análise e adaptamos outros da ferramenta analítica desenvolvida por Penha e Carvalho (2015) (Quadro 2).

Quadro 2 - Rubricas para avaliar a qualidade do argumento.

Rubricas para avaliação do conteúdo do argumento		
Critério	Pontuação	Descrição
Coerência Formal (C) Analisa se os componentes que formam o argumento desempenham suas funções de acordo com o modelo de Toulmin:	0	Nenhum componente desempenha adequadamente sua função estrutural
	1	Alguns componentes desempenham sua função estrutural
	2	Todos os componentes desempenham suas funções estruturais
Validade (V) Analisa se a conclusão do argumento responde à questão do problema proposto:	0	A conclusão responde de maneira incorreta à questão do problema
	1	A conclusão responde de maneira parcialmente correta à questão do problema
	2	A conclusão responde totalmente à questão do problema
Legitimidade (L) Identifica se a justificativa do argumento está dentro do contexto teórico no qual o	0	Justificativas não são aceitáveis dentro do contexto teórico
	1	Justificativas são parcialmente

	argumento se desenvolve:		aceitáveis dentro do contexto teórico
		2	Justificativas são totalmente aceitáveis dentro do contexto teórico
Pertencimento (P)	Identifica se o fundamento que dá suporte a justificativa pertence ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve:	0	Fundamentos não são aceitáveis dentro do contexto teórico
		1	Fundamentos são parcialmente aceitáveis dentro do contexto teórico
		2	Fundamentos são totalmente aceitáveis dentro do contexto teórico
Suficiência (S)	Analisa se a justificativa é suficiente para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão:	0	As justificativas não são suficientes
		1	As justificativas são parcialmente suficientes
		2	As justificativas são totalmente suficientes
Respaldo (R)	Analisa se o fundamento é satisfatório para dar respaldo à justificativa:	0	Os fundamentos não são satisfatórios
		1	Os fundamentos são parcialmente satisfatórios
		2	Os fundamentos são totalmente satisfatórios

Fonte: Adaptado de Penha e Carvalho (2015).

Com o critério Coerência Formal é possível analisar se os componentes que formam o argumento desempenham suas funções. Assim, um argumento descrito de acordo com o modelo de Toulmin (2006), em que cada elemento cumpre seu papel dentro da estrutura, deve ser definido como um argumento coerente. Esse critério possui três graus de pontuação: 0 (zero), quando nenhum componente do argumento desempenha adequadamente sua função estrutural; 1 (um), quando alguns componentes do argumento desempenham sua função estrutural; e 2 (dois), quando todos os componentes do argumento desempenham sua função estrutural.

O critério Validade analisa se a conclusão do argumento responde à questão proposta pelo problema de acordo com a Terceira Lei de Newton. No desenvolvimento de argumentos numa área específica das Ciências, o conteúdo da conclusão é relevante, tendo em vista que o objetivo do argumento é responder uma questão que resolve um problema sobre um fenômeno natural. Conforme Mendonça e Justi (2014), a análise do tipo de justificativa deve levar em consideração o conteúdo da conclusão, tal como o contexto em que foi expressa. Os graus de pontuação deste critério são: 0 (zero), quando a conclusão responde de maneira

incorreta à questão do problema; 1 (um), quando a conclusão responde à questão de maneira parcialmente correta; e 2 (dois), quando a conclusão responde à questão de maneira correta.

A questão conceitual é um indicador relevante na construção de argumentos sobre Ciências (BOTTCHER; MEISERT, 2010). Neste artigo, a partir dos critérios Legitimidade, Pertencimento, Suficiência e Respaldo, as justificativas e os fundamentos que compõe os argumentos serão avaliadas. Um argumento possui Legitimidade quando a justificativa que compõe o argumento está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve. Esse critério possui três graus de pontuação: 0 (zero), quando as justificativas não estão dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 1 (um), quando algumas justificativas estão dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 2 (dois), quando todas as justificativas estão dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve.

Um argumento possui Pertencimento quando o fundamento, que dá suporte à justificativa, pertence ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve. Esse critério possui três graus de pontuação: 0 (zero), quando os fundamentos não pertencem ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 1 (um), quando alguns fundamentos pertencem ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 2 (dois), quando todos os fundamentos pertencem ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve.

Em algumas situações, existem argumentos que necessitam de mais de uma justificativa para, conjuntamente, estabelecer a relação entre dados e a conclusão. Caso um argumento não apresente todas as justificativas corretamente, isso não será suficiente para estabelecer a conclusão de modo satisfatório. Portanto, o critério Suficiência analisa se as justificativas do argumento são suficientes para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão. Em um contexto teórico específico de conhecimento científico, esse critério visa avaliar se o argumento apresenta todas as justificativas que são bastantes para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão. Esse critério possui três graus de pontuação: 0 (zero), quando o argumento não apresenta nenhuma justificativa suficiente para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão; 1 (um), quando o argumento apresenta algumas das justificativas suficientes para estabelecer a relação entre os dados e a

conclusão; 2 (dois), quando o argumento apresenta todas as justificativas suficientes para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão.

O critério Respaldo analisa se os fundamentos dos argumentos são satisfatórios para dar respaldo à justificativa do argumento. Em outros termos, analisa se o aluno apresenta todos os fundamentos que apoiam um argumento dentro de um contexto teórico específico, que em nosso estudo envolve a Terceira Lei de Newton. Esse critério também possui três graus de pontuação: 0 (zero), quando o argumento não apresenta nenhum fundamento satisfatório para dar respaldo à justificativa; 1 (um), quando o argumento apresenta alguns dos fundamentos satisfatórios para darem respaldo à justificativa; 2 (dois), quando o argumento apresenta todos os fundamentos satisfatórios para dar respaldo à justificativa.

3. METODOLOGIA

A metodologia que orienta esse artigo usa como referência algumas das concepções presentes na *Design Research* (PLOMP, 2009). Com a intenção de desenvolver a Sequência Didática que será aplicada na disciplina obrigatória de História da Física e Ensino I, do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana, e favorecer que os objetivos da mesma sejam alcançados, foi elaborado um quadro conceitual (Pesquisa preliminar²) para orientar o estabelecimento dos princípios de *design* e das características que fundamentam a Sequência Didática (Quadro 3). Nosso artigo apresenta o seguinte princípio de *design*: O Ensino de Física pela argumentação pode favorecer a aprendizagem de conceitos científicos de estudantes de um curso de Licenciatura em Física.

O quadro conceitual foi desenvolvido a partir do referencial teórico que sustenta esse artigo e envolveu uma revisão teórica sobre o uso didático da argumentação no ensino de Ciências, além de levar em consideração os conhecimentos dos autores deste trabalho sobre essa área.

O uso didático da argumentação é a característica substantiva da Sequência Didática. Assim, a discussão em pequenos grupos é uma das características

² As pesquisas desenvolvidas na modalidade da *Design Research*, inclui três fases: (1) pesquisa preliminar; (2) fase de prototipagem; e (3) fase de avaliação (PLOMP, 2009).

procedimentais adotadas na Sequência Didática. A discussão em pequenos grupos torna evidente a construção coletiva do conhecimento científico e enfatiza como as interações sociais permeiam a construção de argumentos no campo das Ciências. Ademais, é por intermédio de negociações e disputas, que os sujeitos constroem conhecimento (VYGOTSKY, 2001).

Outra característica procedimental é a discussão entre grupos com mediação do professor, que pode enriquecer à discussão e proporcionar um engajamento dos estudantes em interações argumentativas, voltadas para a construção de argumentos (ARCHILA, 2015). Nesse contexto, a interação entre os alunos com mediação do professor, que é o sujeito mais capacitado, pode gerar um processo de ressignificação dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos e valorizar a construção coletiva e social do conhecimento científico (SANTOS, 2017; TEIXEIRA et al., 2010).

Quadro 3 - Características e objetivos da Sequência Didática.

Características		Objetivos	
Substantivas ³ [Razão]	Procedimentais ⁴ [Razão]	Ensino ⁵	Aprendizagem ⁶
Uso didático da argumentação [A argumentação é uma forma de discurso que favorece a aprendizagem da Terceira Lei de Newton a partir de processos de interação social mediados pela linguagem]	Discussão em pequenos grupos [Promover uma discussão coletiva sobre a 3ª lei de Newton, mediada por roteiro. A construção de conhecimento é uma atividade social. Através da interação com outros sujeitos se negociam, constroem e reconstruem significados coletivos, que podem dar conta das demandas do grupo]	Promover uma discussão coletiva sobre a 3ª lei de Newton, mediada por roteiro	Elaborar argumentos coletivos sobre a Terceira Lei de Newton
	Discussão entre grupos mediada pelo professor [Proporcionar uma interação entre os alunos durante um processo de ressignificação dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos, a fim de construir um argumento coletivo de melhor qualidade, com mediação do professor, sujeito mais experiente]	Mediar e favorecer a discussão entre os grupos e que os alunos possam confrontar seus argumentos com os dos outros; contribuir para melhorar a qualidade das discussões; resolver conflitos e sistematizar o resultado final da discussão.	Elaborar um argumento coletivo entre os grupos sobre a Terceira Lei de Newton a partir da ressignificação dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos

Fonte: Elaborada pelos autores.

³ O que minha proposta de ensino deve ter, em sua essência, para que os objetivos educacionais sejam alcançados? Entre colchetes aparecem as razões pelas quais escolhemos as características substantivas.

⁴ Quais atividades de ensino devem ser utilizadas diante da definição das características substantivas da proposta? Entre colchetes aparecem as razões pelas quais escolhemos as características procedimentais.

⁵ Objetivos de ensino que se pretende realizar como forma de possibilitar que os alunos desenvolvam as habilidades e competências desejadas.

⁶ O que se deseja que os estudantes desenvolvam em termos de habilidades e competências?

3.2 CONTEXTO DE ENSINO

A Sequência Didática faz parte de um estudo maior que desenvolveu, aplicou e analisou uma proposta didática, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação (SILVA; TEIXEIRA, 2021b). Discutir a natureza argumentativa das Ciências e apresentar o modelo de argumento de Toulmin (2006), foram as características procedimentais relacionadas ao ensino explícito da argumentação, que ocorreu no início da proposta didática. Entretanto, os estudantes aplicaram o modelo de Toulmin (2006) em atividades pró-argumentativas para construir argumentos ao longo da aplicação de toda a proposta didática. Como resultado do desenvolvimento, aplicação e análise do primeiro ciclo de prototipagem dessa proposta didática, foi possível concluir que a mesma parece ter contribuído para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton.

No início de cada aula – Momento 1 – o professor entregava o roteiro para orientar a discussão e evitar que os alunos se desviassem do tema da aula. Na sequência, os alunos se organizavam em pequenos grupos para discutir e, posteriormente, construir um argumento coletivo para responder ao problema proposto, tomando como base o texto previamente lido (SILVA; TEIXEIRA, 2021a). Portanto, o ensino ocorreu a partir da leitura prévia do texto desenvolvido para ser utilizado na Sequência Didática. Trata-se de um texto de natureza histórica, que apresenta uma exposição didática dos argumentos originais utilizados por Newton no desenvolvimento da Terceira Lei. Além disso, o texto aborda, em diferentes situações, todas as características da referida lei. Para tentar garantir a leitura do texto, o professor solicitava a entrega de um resumo uma hora antes da aula.

Posteriormente – Momento 2 – era solicitado que cada grupo escrevesse seu argumento no quadro, para ser analisado entre os grupos. Em seguida, ocorria a discussão entre os grupos com mediação do professor. Nesse momento, os alunos tinham a possibilidade de construir um novo argumento coletivo a partir do confronto e da resignificação dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos. Ao final da aula, o professor fornecia um *feedback* voltado para resolver conflitos e sistematizar a discussão e cada aluno, de maneira individual e sem consulta, construía um argumento para responder ao problema proposto.

Participaram da Sequência Didática 14 (catorze) alunos⁷. Entre esses, 6 (seis) são do sexo masculino e 8 (oito) do sexo feminino. A faixa etária varia entre 20 (vinte) e 37 (trinta e sete) anos de idade. Os semestres nos quais os discentes estavam matriculados variam entre o 5° (quinto) e o 11° (décimo primeiro) semestre do curso (Quadro 4).

Quadro 4 - Informações acadêmicas dos participantes da pesquisa.

Pseudônimo ⁸	Símbolo	Semestre	Físicas Básicas Cursadas			
			I	II	III	IV
Bruna	A1	7°	x	x	X	x
Carol	A2	7°	x	x	X	
Marcelo	A3	5°	x			
Olga	A4	7°	x	x	X	
Sara	A5	9°	x	x	X	
Fernando	B1	5°				
Rodrigo	B2	7°		x	x	x
Tereza	B3	7°				
Tiago	B4	7°				
Alan	C1	11°	x		x	
Bruna	C2	7°	x	x	x	
Eduardo	C3	7°	x		x	
Lais	C4	5°		x	x	
Talita	C5	5°	x	x	x	

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.4 COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados por meio de diferentes situações, a saber: a) pré-teste, b) gravação em vídeo das interações durante as atividades em pequenos grupos, c) discussão entre grupos com mediação do professor e d) elaboração de argumentos individuais feitos pelos futuros professores, tanto de maneira coletiva quanto individual. A coleta também ocorreu a partir do registro em diário de bordo das descrições e reflexões das atividades realizadas ao longo da aplicação da Sequência Didática.

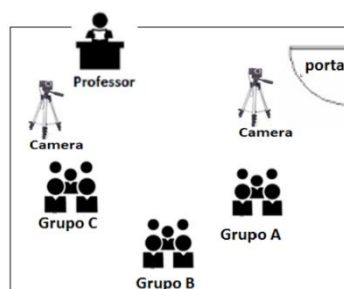
⁷ Em conformidade com a Resolução n° 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, o projeto de pesquisa que fundamenta este estudo foi submetido e aprovado, parecer de número 3.563.945, pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP). A anuência para participação dos estudantes na pesquisa foi concebida através de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), que versa sobre os objetivos da pesquisa, acerca da participação facultativa e das estratégias adotadas para não prejudicar os alunos, assim garantir o anonimato destes ao longo do estudo.

⁸ Em conformidade com a Resolução n° 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, adotamos pseudônimos para garantir o anonimato dos estudantes que participaram da pesquisa.

Diante do objetivo deste artigo, construímos e aplicamos um pré-teste (Apêndice D). As questões do pré-teste foram analisadas com o objetivo de avaliar o nível de aprendizagem dos alunos sobre a Terceira Lei de Newton, antes da aplicação da Sequência Didática. As questões, de maneira intencional, abordam a Terceira Lei de Newton em contextos diferentes, ou seja, são questões que apresentam situações distintas pelas quais o uso da Terceira Lei deve ser aplicada. A análise das respostas do pré-teste ocorreu a partir de dois procedimentos; primeiro, foram analisadas as respostas dadas pelos alunos para cada questão e, posteriormente, foram analisadas as justificativas destas questões.

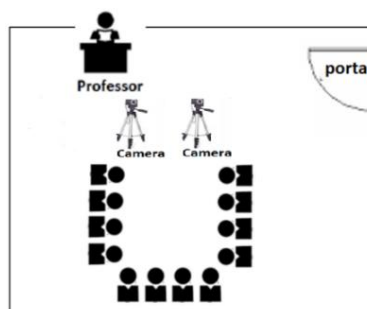
Além da filmagem em vídeo, durante as atividades desenvolvidas em pequenos grupos, solicitávamos que um membro do grupo utilizasse o celular para gravar o áudio das discussões entre eles, a fim de garantir a qualidade de registro dos dados. Ao final da aula, esses arquivos de áudio foram transferidos para o computador do pesquisador. As figuras abaixo apresentam a organização espacial da sala durante a coleta de dados. Essa representação ilustra o posicionamento das câmeras durante as discussões em pequenos grupos (Figura 2) e entre grupos (Figura 3).

Figura 2 - Esquema das posições das câmeras para filmar as interações dos alunos reunidos em pequenos grupos.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 3 - Esquema das posições das câmeras para filmar a discussão entre os grupos.



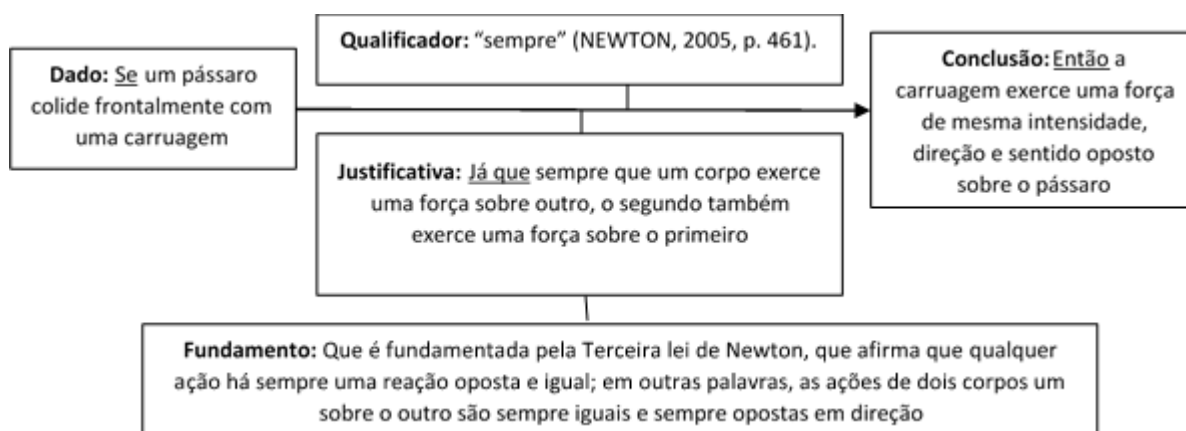
Fonte: Elaborada pelos autores.

Para a análise dos argumentos dos alunos, foi realizada a transcrição dos vídeos da discussão nos pequenos grupos e entre grupos. As transcrições foram os principais dados utilizados para analisar o processo de discussão e construção dos argumentos. O uso de múltiplas fontes de dados, articuladas aos diferentes analistas que são autores deste artigo, permitiu a ocorrência de triangulação dos dados. Um desses autores exerceu as funções de pesquisador e professor.

De posse das transcrições dos vídeos, a primeira estratégia foi identificar os episódios argumentativos. O critério para identificar o episódio foi reconhecer, nos turnos de fala, uma conclusão, que visa responder à questão do problema proposto, seguida da identificação do dado apresentado para se chegar a essa conclusão e da justificativa apresentada para sustentá-la. Na sequência, os argumentos elaborados pelos alunos foram organizados de acordo com o modelo de argumento de Toulmin.

Após a identificação do episódio argumentativo, os argumentos foram avaliados, a partir da comparação, com uma representação do argumento que responde ao problema proposto (Figura 4). Esse argumento foi construído pelos pesquisadores, autores deste trabalho, a partir do texto (SILVA; TEIXEIRA, 2021a), desenvolvido para ser utilizado na Sequência Didática. Em concordância com Teixeira (2010a), entendemos que essa representação é apenas um instrumento de análise, que possui um caráter interpretativo e não se configura como única. Na sequência, passamos à análise da estrutura e do conteúdo do argumento a partir da rubrica de análise (Quadro 2). Após a construção coletiva dos argumentos entre os grupos, também era solicitado que cada aluno escrevesse, de maneira individual e sem consulta, o argumento que responde o problema.

Figura 4 - Argumento desenvolvido pelos pesquisadores para auxiliar, através da comparação, o argumento desenvolvido pelos estudantes para resolver o problema.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os alunos foram identificados dentro da discussão conforme a letra do grupo ao qual pertencem (A, B ou C) e a partir da ordem alfabética do pseudônimo deste ou desta dentro do respectivo grupo (Quadro 4). Nos argumentos coletivos que serão representados conforme o modelo de Toulmin (2006), serão identificadas as contribuições de cada aluno na construção dos argumentos. Como o aluno **C3** não respondeu ao pré-teste, o grupo C foi excluído da amostra de análise.

4. ANÁLISE, RESULTADOS E DISCUSSÃO

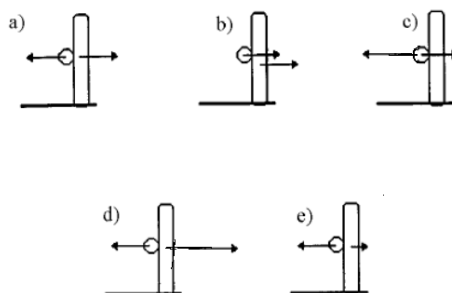
4.1 ANÁLISE DO PRÉ-TESTE

Definimos dois critérios de corte para selecionar as questões que serão analisadas neste artigo. O primeiro ponto é analisar apenas questões que abordam a Terceira Lei de Newton, tema de interesse deste artigo, e excluir as questões que tratam do conceito de interação mútua (Questões 3, 5 e 8), que não serão analisadas neste artigo por razão do escopo deste. O segundo critério foi excluir as questões 7 e 10, haja vista que os dados coletados a partir desses itens não apresentaram elementos suficientes para nossa análise. Isso posto, seguem as questões que foram apresentadas aos estudantes no pré-teste realizado seguida de uma análise das respostas dadas pelos estudantes:

Questão 1: Uma bola de tênis é arremessada contra uma parede. Marque a alternativa que melhor representa o par de força(s), ação e reação, que atua(m) no

sistema, durante a colisão, devido apenas à interação entre a bola e a parede (TALIM, 1999). Justifique sua resposta.

Observação: A seta que indica a(s) força(s), possuem tamanhos diferentes a fim de exemplificar sua intensidade, ou seja, setas com o mesmo tamanho representam forças iguais, com tamanhos diferentes representam forças com intensidades diferentes.



A maioria dos componentes do grupo A (**A1**, **A2**, **A4** e **A5**), assinalou à opção correta (Alternativa a). De modo geral, eles afirmam, assim como a aluna **A2**, que “quando a bola colide com a parede, provocando uma ação sobre ela, a parede irá reagir sobre a bola com igual intensidade”. Segundo a aluna **A1**, no momento que a bola exerce uma força sobre a parede, esta “reage instantaneamente realizando uma força sobre a bola com sentido oposto e mesma intensidade”.

Nesse grupo, apenas o aluno **A3** assinalou uma alternativa incorreta (Alternativa c). Para esse aluno, durante a colisão, devido apenas à interação entre a bola e a parede, “as forças são diferentes, porque a massa da parede é maior que a massa da bola”. Do exposto, ele acredita que o par de força(s), ação e reação, é diferente pois os corpos possuem massas diferentes. No entanto, a igualdade da intensidade desse par de força(s) independe das massas dos corpos envolvidos.

Todos os alunos do grupo B assinalaram a opção correta. Todavia, apenas os alunos **B2**, **B3** e **B4**, apresentaram uma justificativa correta para a referida questão. O aluno **B2**, por exemplo, afirma que: “[...] quando a bola é arremessada e atinge a parede surge um par de forças denominada ação reação, ou seja, a força que a bola aplica ao atingir a parede, faz com que a parede aplique uma força de igual intensidade com sentido oposto.”

De modo geral, os estudantes deste grupo descrevem que as forças que a bola e a parede exercem uma sobre a outra são iguais em magnitude, têm a mesma direção e sentidos opostos. O aluno **B1**, entretanto, por sua vez, descreveu uma justificativa incoerente para a questão, a saber: “a bola quando lançada, a força é igual na volta, fazendo a bola retornar.” A partir da análise desta justificativa, é possível perceber que o aluno **B1** não explica o par de força(s), ação e reação, formada a partir do choque entre a bola e a parede, que atua apenas no pequeno intervalo de tempo em que estes estão em contato, que é o objetivo da questão. Apenas afirma que a força com a qual a bola foi lançada é a mesma após o choque, fazendo a bola retornar.

De acordo com a Terceira Lei, as ações entre dois corpos, um sobre o outro, são sempre iguais e sempre opostas em sentido (NEWTON, 1999). Portanto, no sistema formado apenas pela bola e a parede, a força que um exerce sobre outro, no momento do choque, possui a mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos. Nas palavras do próprio Newton: “Tudo o que quer que puxe ou empurre uma coisa é da mesma forma puxado ou empurrado por essa coisa. Se alguém pressiona uma pedra com um dedo, o dedo também é pressionado pela pedra.” (1999, p. 417). Portanto, diante da análise dessa questão, podemos inferir que os alunos **A1**, **A2**, **A4**, **A5**, **B2**, **B3** e **B4** reconhecem que sempre que um corpo exerce uma força sobre outro, o segundo também exerce uma força sobre o primeiro, com uma força de igual intensidade, de sentido oposto e na mesma linha de ação.

Questão 2: Considerando o item anterior (Questão 1), um estudante de Física fez a seguinte afirmativa: “A ação (que é a força da bola sobre a parede) acontece antes da reação (que é a força da parede sobre a bola); a reação é uma consequência da ação, por isso acontece depois”. Comente a afirmativa deste estudante e apresente as justificativas para sustentar seu comentário.

A aluna **A1** concluiu que o estudante representado na questão está errado, pois “a reação ocorre de forma instantânea e não após a força ser aplicada”. De maneira semelhante, a aluna **A4** afirmou que “a ação e reação são simultâneos. Para o aluno **A3**, “a reação acontecerá após a ação no sentido contrário e de intensidade diferente, porque as massas são diferentes”. A aluna **A5** apresentou uma resposta inconclusiva, enquanto a aluna **A2** não respondeu à questão.

Nenhum dos alunos do grupo B respondeu de maneira satisfatória a essa questão, ou seja, todos concordaram com a afirmativa dada pelo estudante hipotético representado na questão. Os alunos justificaram suas respostas afirmando, de diferentes formas, que a reação é consequência da ação, isto é, que existe uma diferença temporal entre a ação e a reação.

Para o aluno **B1**, “(...) a bola está em movimento e atinge a parede que está imóvel. Por isso, a ação ocorre antes da reação.” O aluno B2, por sua vez, justificou sua resposta da seguinte forma:

“Para que a força de reação aconteça de maneira igual a força de ação, se faz necessário que a força de ação seja totalmente gasta, já que se a reação acontecesse na eminência da ação, a reação seria menor que a ação, o que contraria a Terceira Lei de Newton, onde essas forças formam um par ação-reação de mesma intensidade e sentidos opostos.”

Do exposto, para o aluno **B2**, a reação seria menor que a ação se o par de forças “ação e reação” atuasse de maneira simultânea. De acordo com a mecânica newtoniana, o par de forças “ação e reação” atua no mesmo instante. Portanto, a partir da análise da questão 2, é possível afirmar que apenas os alunos **A1** e **A4** apresentaram um entendimento correto sobre essa característica da Terceira Lei de Newton.

Questão 4: Se uma mosca colidir com o para-brisa de um ônibus em movimento rápido, quem sofre uma força com maior intensidade? (SERWAY, 2014, p. 111). Justifique sua resposta.

Os alunos **A1**, **A2**, **A4** e **A5**, afirmaram, de diferentes formas, que na colisão entre a mosca e o para-brisa do ônibus, a intensidade das forças que um exerce sobre o outro “[...] será a mesma, visto que o que mudaria seria apenas o sentido” (**A5**), ou seja, “[...] ambos sofrem uma força com mesma intensidade” (**A2**). Contudo, equivocadamente, o aluno **A3** afirma que a mosca sofre uma força com maior intensidade, “[...] porque a massa do ônibus é muito maior que a massa da mosca”.

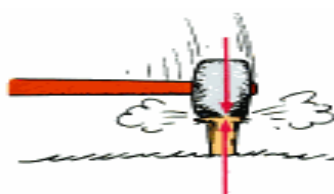
A partir da análise das respostas dos membros do grupo B, é possível inferir que a aprendizagem sobre a igualdade do par “ação e reação” não é claro para os alunos **B1**, **B3** e **B4**. De acordo com a aluna **B4**, incide sobre a mosca uma força de maior intensidade, pois “ela tem a massa menor que a massa do ônibus”. Para a

aluna **B3**, “a mosca irá sofrer uma intensidade maior por conta da sua massa que é menor que a do ônibus.” O aluno **B2**, por sua vez, descreve de maneira correta que: “Devido ao par ação e reação, o que teremos é uma força de intensidade de igual proporção para a mosca e para o ônibus”.

Os alunos **B1**, **B3** e **B4**, apesar de reconhecerem – Questão 1 - que as ações entre dois corpos, um sobre o outro, são sempre iguais e sempre opostas em direção, não conseguiram generalizar essa afirmação para a situação ilustrada na questão 4. Logo, existem indícios pelos quais podemos atribuir falta de aprendizagem desses alunos, tendo em vista que eles não conseguem aplicar a Terceira Lei em diversas situações específicas em que o conceito se faz presente.

Os alunos **A3**, **B1**, **B3** e **B4** demonstraram falta de aprendizagem, pois as forças envolvidas no choque entre a mosca e o para-brisa são iguais em intensidade, possuem a mesma direção e sentidos opostos. Entretanto, como são aplicadas em corpos diferentes, os efeitos das forças de ação e reação sobre esses corpos são diferentes, assim como afirma a segunda lei de Newton. Desse modo, as acelerações causadas pela interação da mosca com o para-brisa possuem efeitos distintos, por conta da diferença de massa entre eles.

Questão 6: Na interação entre o martelo e o prego, um deles exerce uma força sobre o outro. Qual exerce a força e qual sofre a ação desta força? Justifique sua resposta.



Fonte: (HEWITT, 2002, p. 86).

A partir da análise das respostas, é possível inferir que todos os alunos apresentam dificuldade de definir o par de força(s) ação e reação como uma única interação que atua de maneira simultânea entre dois corpos. De acordo com as alunas **A1** e **A4**, “os dois exercem e sofrem forças. Inicialmente o martelo exerce uma força sobre o prego, o prego por reação exerce uma força no martelo” (**A1**). Essa aluna, anteriormente, na questão 2, descreveu a ação e reação como

simultâneas. Todavia, nesse contexto, não foi capaz de reconhecer que o par de força(s) ação e reação, além de atuarem no mesmo instante, formam uma única interação.

Para os demais alunos do grupo A “o martelo exerce a força e o prego sofre a ação da força” (**A3**). Em outros termos, “o martelo exerce a força sobre o prego e o prego sofre a ação da força do martelo” (**A2**). Diferente destes, a aluna **A5** afirmou que “a força exercida é da pessoa, então o martelo terá uma força de reação e o prego uma força de ação”.

A partir da análise das respostas dos alunos, é possível inferir que nenhum deles descrevem a ação e a reação como uma única interação que atua de maneira simultânea entre dois corpos. A partir das justificativas das respostas, fica claro que os alunos entendem a ação e a reação como se fossem independentes. Isto pode ser comprovado em algumas das falas, tais como: “o martelo exerce a força sobre o prego, por sua vez sofre a reação” (**B3**). Para a aluna **B4**: “O martelo exerce a força sobre o prego, o [...] martelo sofre a reação, pois a reação é a consequência da ação.” De acordo com a Terceira Lei, toda força resulta da interação mútua entre dois corpos, isto é, as forças sempre ocorrem aos pares e de maneira simultânea. Dessa maneira, definir uma das forças como ação e a outra como reação só é relevante para efeitos de operacionalização matemática.

Questão 9: Durante uma faxina, a mãe pediu que o filho a ajudasse, deslocando um móvel para mudá-lo de lugar. Para escapar da tarefa, o filho disse ter aprendido na escola que não poderia puxar o móvel, pois se puxar o móvel, o móvel o puxará igualmente de volta, e assim não conseguirá exercer uma força que possa colocá-lo em movimento.

Qual argumento a mãe utilizará para convencer o garoto de que ele é capaz de colocar o móvel em movimento? Justifique a sua resposta.

- a) A força de ação é aquela exercida pelo garoto.
- b) A força resultante sobre o móvel é sempre nula.
- c) As forças que o chão exerce sobre o garoto e sobre o móvel se anulam.
- d) A força de ação é um pouco maior que a força de reação.
- e) O par de forças de ação e reação não atua em um mesmo corpo.

Os alunos **A5** e **B2** assinalaram a alternativa correta (letra e), que foi justificada pelo aluno **B2** seguinte forma:

“O argumento do garoto não é válido porque ele induz a acreditarmos que a força que ele irá aplicar será sobre ele próprio. Mas da Terceira Lei de Newton sabemos que a par ação-reação acontece em corpos distintos, e ele conseguiria mover o móvel por que a força resultante será diferente de zero.”

De maneira semelhante, a aluna **A5** afirma que “o par de forças (ação e reação) não atua no mesmo corpo, pois, caso atuasse o somatório das forças resultante seria, nulo e, conseqüentemente, o garoto teria razão”.

Os alunos **A2**, **A3**, **B1**, **B3** e **B4**, assinalaram a alternativa d, que ilustra, de maneira incorreta, que a força de ação e reação possuem intensidades diferentes. Para o aluno **B1**, “se a força aplicada pelo garoto for maior que a reação resultara em um movimento” (**B1**). Em outros termos, “[...] para fazer o móvel entrar em movimento, é preciso aplicar uma força maior sobre ele, para superar a força de atrito entre o chão e o móvel” (**A3**). De acordo com o aluno **B3**, “a ação que o garoto irá fazer sobre o móvel é maior que a reação do móvel, logo ele pode mudar o móvel de lugar.” As alunas **A1** e **A4**, assinalaram a alternativa a, mas não apresentaram justificativa.

O par de forças de “ação e reação” entre o menino e o móvel, apesar de ter a mesma intensidade, direção e sentidos opostos, atua em corpos diferentes. Como resultado, não podem produzir uma condição de equilíbrio. Conseqüentemente, como o menino e o móvel possuem massas diferentes, os efeitos das forças de ação e reação sobre cada um dos corpos envolvidos é diferente e o menino é capaz de movimentar o móvel. Portanto, apesar de terem reconhecido a igualdade entre o par “ação e reação” (*Questão 1*), os alunos **A2**, **B1**, **B3** e **B4** não conseguiram generalizar o entendimento sobre a Terceira Lei no contexto ilustrado na questão 9.

Questão 11: Descreva, utilizando suas palavras, o que você entende a respeito da Terceira Lei de Newton. Caso ache necessário, ilustre com um desenho.

Para a maioria dos alunos do grupo A (**A1**, **A2**, **A4** e **A5**), a Terceira Lei de Newton afirma que “a toda força aplicada sobre um objeto, o objeto reage com uma força de mesma intensidade e sentido oposto” (**A1**). Com outras palavras, a aluna **A4** concluiu que “a Terceira Lei de Newton diz que toda ação provoca uma reação

de mesma intensidade, porém opostas”. A partir da análise dessas respostas, é possível perceber que os alunos citados descrevem a Terceira Lei de Newton de maneira parcial, isto é, sem descrever que, além das forças de ação e reação serem iguais em intensidade e terem sentidos opostos, são simultâneas e são aplicadas na mesma direção, além de atuarem em corpos diferentes.

Para o aluno **A3**, “a Terceira Lei de Newton é a lei de ação e reação, onde toda força aplicada terá uma força contrária de intensidade relativa, dependendo das massas dos corpos”. O aluno citado não demonstra uma compreensão adequada, pois toda vez que um corpo exerce uma força sobre outro, o segundo também exerce uma força sobre o primeiro, com uma força de igual intensidade, de sentido oposto e na mesma direção, independente da massa dos corpos envolvidos.

No grupo B, apenas os alunos **B1**, **B2** e **B4** responderam à questão. Segundo o aluno **B1**, a “[...] Terceira Lei, que reflete sobre ação e reação em que para um corpo realizar um movimento é necessária uma força maior que a reação do objeto para que haja movimento.” De acordo com o aluno **B2**: “A Terceira Lei de Newton nos diz que é a interação entre corpos surgindo sempre um par ação e reação.” Na concepção da aluna **B4**: “A Terceira Lei de Newton relaciona as forças de interação entre os corpos. Ex.: Quando um objeto A exerce uma força sobre outro objeto B, este outro objeto B vai exercer uma força com a mesma intensidade sobre o objeto A”. Nenhum dos alunos se preocupou em representar a Terceira Lei a partir de um desenho.

Na questão 9, os alunos **A5** e **B2** afirmaram que o par de forças “ação e reação” são aplicados em corpos diferentes. Todavia, a partir da análise da questão 11, identificamos que nenhum dos alunos explicitou essa característica fundamental ao descreverem a Terceira Lei de Newton com suas próprias palavras. O par de forças “ação e reação”, são iguais em magnitude, possuem a mesma direção e possuem sentidos opostos. Como resultado, esse par de forças não pode produzir uma condição de equilíbrio, pois são aplicadas em corpos diferentes. Portanto, podemos afirmar que os alunos não demonstraram aprendizagem a respeito dessa importante característica da Terceira Lei.

4.2 ANÁLISE DOS ARGUMENTOS

Nesta seção, apresentaremos a análise da qualidade dos argumentos elaborados pelos estudantes durante atividades em pequenos grupos (Momento I) e entre os grupos (Momento II), de maneira coletiva e individual, para resolver um problema (Figura 5). A partir da análise do conteúdo dos argumentos, assim como do processo de construção destes, em comparação com a avaliação do pré-teste, buscamos ter condições de avaliar se a Sequência Didática é capaz de contribuir para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton.

Figura 5 - Problema 1 sobre a Terceira Lei de Newton.

Problema 1 – Considere um grupo de pessoas viajando numa carruagem realizando um movimento retilíneo com velocidade constante em relação a Terra.

Figura 1: Carruagem do século XVII.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Museu_Nacional_dos_Coches.

Considere um pássaro em movimento retilíneo com velocidade de constante em relação a Terra, num sentido oposto ao movimento da carruagem. Num determinado instante o pássaro colide frontalmente com a carruagem. Diante dessas informações e baseado na mecânica newtoniana, responda:

Observação: Considere um sistema isolado, em que há apenas a interação entre o pássaro e a carruagem.

Elabore um argumento para responder a seguinte questão: **Quem sofre uma força com maior intensidade, o pássaro ou a carruagem?**

Fonte: Elaborada pelos autores.

Por razão de parcimônia, alguns turnos de fala, que não são relevantes à análise, serão suprimidos. No entanto, todos os turnos de fala podem ser lidos na íntegra nos Apêndices E, F e G.

Com o propósito de identificar os elementos dos argumentos desenvolvidos pelos alunos, no Quadro 5 é apresentada a associação, do ponto de vista do pesquisador, entre os elementos que compõem o argumento e as cores adotadas para cada um deles⁹⁹.

⁹⁹ Foram adotados os seguintes códigos para descrever algumas ações nas falas dos participantes da pesquisa: (...) - Pensamento longo; (/) - Interrupção na fala; (?) - Palavra ou frase incompreensível; ... - omissão de palavra/frase que não é relevante à análise, por ser inadequado ao contexto de sala de aula (Por exemplo: conversas paralelas, que fogem ao tema da aula; palavrões; xingamentos; etc.).

Quadro 5 - Associação dos elementos do modelo de Toulmin e as suas respectivas cores.

Elemento	Cor
Dado	Amarelo
Justificativa	Verde
Conclusão	Azul
Fundamentos	Rosa
Qualificador	Cinza
Refutador	Vermelho

Fonte: Adaptado de Santos (2017, p. 54).

Quadro 6 - Mapa do momento I, aula sobre a Terceira Lei de Newton.

Duração	Atividades desenvolvidas	Ações do professor e/ou do aluno	Comentários
Início da aula: 14:00h. Momento inicial da aula com duração de cerca de 15 minutos.	Início da aula: Apresentação da temática da aula e esclarecimento sobre as atividades que serão desenvolvidas em sala.	Os alunos se organizam em pequenos grupos.	Os alunos se organizaram em três grupos; Todos os alunos entregaram o resumo do texto.
00:00:01 Momento I 00:08:09 (Grupo A) 00:05:22 (Grupo B)	Discussão coletiva em pequenos grupos e elaboração de um argumento para resolver à questão do problema 1 (Figura 4).	Reunidos em pequenos grupos, os alunos devem discutir e elaborar um argumento coletivo para responder ao problema proposto.	A gravação de vídeo começa a partir desse momento; Todos os alunos se envolvem para discutir e elaborar um argumento que resolve o problema.
00:00:01 Momento II 00:24:39	Discussão coletiva e construção de um argumento coletivo entre os grupos com mediação do professor.	O professor solicitou que os alunos analisassem os argumentos elaborados nos pequenos grupos e construíssem um argumento para representar a turma.	A gravação é retomada; Alguns alunos não se envolveram na discussão.

Fonte: Adaptado de Teixeira (2010, p. 68).

Serão analisados episódios que envolvem os processos argumentativos de construção dos argumentos em pequenos grupos (Momento I) e o argumento coletivo construído entre os grupos com mediação do professor (Momento II).

4.2.1 ARGUMENTO DO GRUPO A

Com o objetivo de esclarecer sobre as contribuições individuais dos alunos na construção do argumento, será apresentada agora uma síntese do episódio¹⁰. A síntese irá seguir uma ordem que exprime como os estudantes construíram o argumento enquanto produto acabado, para responder ao problema 1 (Figura 5), ao invés da ordem cronológica dos turnos de fala, em que o processo argumentativo ocorreu¹¹ (SANTOS, 2017).

(1) Turno: T10/T14 e T63/T76 – Alunos A1, A4 e A5: No início do episódio, após o questionamento da aluna **A4 (T5)**, se inicia a discussão. Como resposta ao problema proposto, os alunos estabelecem a **conclusão** do argumento ao afirmarem que a intensidade da força que a carruagem exerce sobre o pássaro é igual a força que este exerce sobre a carruagem (**T14**). Para mais, reconhecem que o par de forças de “ação e reação” do sistema formado entre o pássaro e a carruagem atua de maneira simultânea (**T5**). O que foi enfatizado posteriormente (**T63/T76**).

Turno 10 – A5 - É que eles são simultâneos.

(...)

Turno 13 – A4 - A intensidade é a mesma, não?

Turno 14 – A5 - **A intensidade vai ser a mesma.**

(...)

Turno 63 – A5 - **A intensidade...**

Turno 64 – A4 - **Será a mesma.**

Turno 65 – A5 - **Será a mesma.**

Turno 66 – A4 - **Intensidade da força.**

(...)

Turno 70 – A1 - Sobre os dois corpos.

Turno 71 – A4 - **São iguais.**

(...)

Turno 76 – A1 - **É igual. São iguais. Tanto faz. A intensidade das forças sobre os dois... das forças. Sobre os dois corpos é igual. São iguais.**

¹⁰ No **Apêndice E** os turnos de fala podem ser lidos na íntegra.

¹¹ São utilizadas as seguintes nomenclaturas para os turnos de fala analisados: TN/TN' - intervalo entre os turnos de fala de número N ao de número N'. Por exemplo, T11/T20 significa todos os turnos de fala a partir do 11 (onze) até o 20 (vinte); TN e TN' – turnos de fala de número N e de número N'. Por exemplo, T4 e T30 significado o turno de fala 4 (quatro) e o turno de fala 30 (trinta), especificamente; TN – apenas o turno fala de número N. Por exemplo, T8 significa apenas o turno de fala de 8 (oito).

(2) **Turnos: T36/T45 – Alunos A1, A2, A3, A4 e A5:** De posse da resposta do problema os alunos partem para a construção do argumento coletivo. Nesse trecho, os alunos identificam o **dado (T39/T41)**.

Turno 36 – A4 - É, se um pássaro colide com um...
 Turno 37 – A5 - Com a carruagem.
 (...)
 Turno 39 – A3 - Se um pássaro colide...
 Turno 40 – A2 - Com a carruagem.
 (...)
 Turno 44 – A1 - Se um pássaro colide com uma carroça...

(3) **Turnos: T51/T55 – Alunos A1, A2, A3, A4 e A5:** Neste trecho os alunos discutem e estabelecem o **qualificador** do argumento (**T53**).

Turno 51 – A4 - No texto, ele coloca qualificador?
 Turno 52 – A3 - Tá. Se um pássaro colide com uma carruagem...
 Turno 53 – A1 - Com certeza.
 Turno 54 – A3 - Frontalmente, com velocidade constante...
 Turno 55 – A4 - Então, com certeza...

(4) **Turnos: T89/T108 – Alunos A1, A2, A3, A4 e A5:** Neste trecho o grupo discute e estabelece a **justificativa** do argumento.

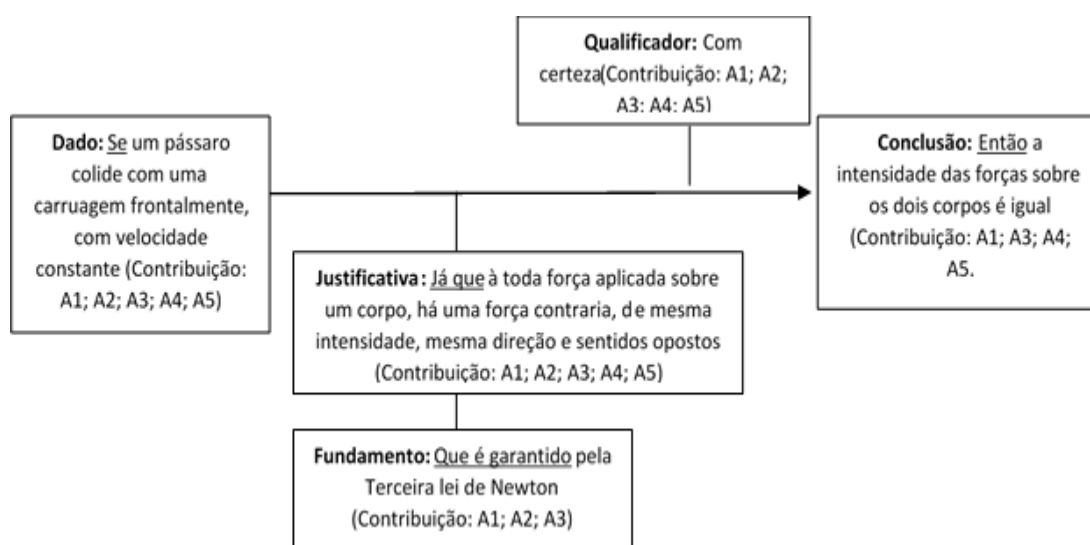
Turno 89 – A1 - Para toda força aplicada, há uma força de mesma intensidade, sentido contrário. E mesma direção.
 Turno 90 – A4 - Direção contrária.
 Turno 91 – A5 - Direções opostas.
 Turno 92 – A4 - Mesmo sentido...
 Turno 93 – A1 - É sentido contrário.
 Turno 94 – A3 - É sentido contrário. É.... Direção.
 Turno 95 – A1 - A direção é a mesma.
 (...)
 Turno 103 – A3 - Já que toda força aplicada.
 Turno 104 – A1 - Toda força aplicada sobre um corpo, há uma força contrária...
 Turno 105 – A4 - Com mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos.
 (...)
 Turno 107 – A4 - Aí tá estranho. Porque ação e reação não são no mesmo corpo, são em corpos distintos. Né?
 Turno 108 – A1 - Já que a toda força aplicada sobre um corpo há uma força contrária...

(5) **Turnos: T123/T128 – Alunos A1, A2, A3 e A4:** Neste trecho, os alunos estabelecem o **fundamento** do argumento (**T123/ T124**). Na sequência, apresentam o argumento final do grupo A (**T127**). Por fim, a aluna **A4** afirma não haver refutador (**T128**).

Turno 123 – A1 - E sentidos opostos. Que é fundamentado por... pela Terceira Lei de Newton.
 Turno 124 – A2 - Lei da ação e reação.
 (...)
 Turno 127 – A3 - Tá. Se um pássaro colide com uma carruagem frontalmente, com velocidade constante, então, com certeza, a intensidade das forças sobre os dois corpos é igual. Já que à toda força aplicada sobre um corpo, há uma força contrária, de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, que é fundamentada pela Terceira Lei de Newton. Pronto.
 Turno 128 – A4 - Mas não tem refutador.

O processo argumentativo, descrito no episódio acima, produziu um argumento coletivo do grupo A, construído a partir da contribuição de diferentes alunos, que pode ser representado de acordo com o modelo de Toulmin (2006) da seguinte forma:

Figura 6 - Argumento coletivo desenvolvido pelo grupo A para responder à questão do problema 1 sobre a Terceira lei de Newton.



Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com a Terceira Lei de Newton, se você empurra, ou seja, exerce uma força sobre um objeto qualquer, é da mesma forma empurrado por esse objeto. Assim, se a carruagem exerce uma força, $|\vec{F}|$, sobre o pássaro, esse também exerce sobre a carruagem, no sentido oposto, uma força de magnitude igual a $|\vec{F}|$. O par de forças de “ação e reação”, evidenciados na interação entre o pássaro e a carruagem, atua sempre em corpos diferentes, assim não podem produzir uma condição de equilíbrio. Por consequência, o efeito das forças sobre esses corpos é diferente pois depende de suas massas. Esse par de forças de “ação e reação” coexiste, ou seja, atua de maneira simultânea. Portanto, não há uma diferença temporal entre a força que a carruagem exerce sobre o pássaro, ou entre a força que o animal exerce sobre a carruagem, apenas uma interação mútua, simultânea, entre os dois corpos.

Pela análise do argumento apresentado na Figura 6, em comparação com o argumento apresentado na Figura 4, percebemos que alguns dos elementos que constituem o argumento desenvolvido pelo grupo A desempenham suas funções, tendo em vista, que o **fundamento** do grupo, que dá suporte à **justificativa**, apenas cita a Terceira Lei de Newton, sem explicitar o seu significado. Como resultado, o argumento recebe pontuação 1 (um) no critério Coerência Formal.

O argumento, por meio da **conclusão**, responde à questão do problema de maneira correta, isto é, que no choque entre o pássaro e a carruagem “a intensidade das forças sobre os dois corpos é igual”. Logo, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Validade.

A partir da análise da **justificativa** do argumento do grupo A, que tem a função de estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Legitimidade, tendo em vista que a **justificativa** está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve, a saber: “à toda força aplicada sobre um corpo, há uma força contrária, de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos” – para apoiar o argumento.

O **fundamento** que dá suporte a **justificativa** do argumento do grupo A - “Que é garantido pela Terceira Lei de Newton” - pertence ao contexto teórico ao qual o argumento se desenvolve. Como resultado, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Pertencimento.

A **justificativa** do argumento é suficiente para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**. Logo, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Suficiência.

O **fundamento** do argumento do grupo A, que responde ao problema 1, é satisfatório para dar respaldo à justificativa do argumento. Diante disso, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Respaldo. Nossa análise é baseada no fato que apesar de não explicitar a Terceira Lei de Newton no argumento final, os membros do grupo A foram capazes de expressar o teor da referida lei durante o processo de discussão que culminou na construção do argumento (**T89/T108**). Assim, existem indícios que os alunos do grupo A entenderam e mobilizaram a Terceira Lei para construir um argumento que resolve um problema sobre a Terceira Lei de Newton.

Turno 89 – A1 - Para toda força aplicada, há uma força de mesma intensidade, sentido contrário. E mesma direção.
Turno 90 – A4 - Direção contrária.
Turno 91 – A5 - Direções opostas.
Turno 92 – A4 - Mesmo sentido...
Turno 93 – A1 - É sentido contrário.
Turno 94 – A3 - É sentido contrário. É Direção.
Turno 95 – A1 - A direção é a mesma.
 (...)

Turno 103 – A3 - Já que toda força aplicada.
Turno 104 – A1 - Toda força aplicada sobre um corpo, há uma força contrária...
Turno 105 – A4 - Com mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos.
 (...)

Turno 107 – A4 - Aí tá estranho. Porque ação e reação não são no mesmo corpo, são em corpos distintos. Né?
Turno 108 – A1 - Já que a toda força aplicada sobre um corpo há uma força contrária...

4.2.2 ARGUMENTO DO GRUPO B

O processo argumentativo que culminou no argumento coletivo do grupo B, com o objetivo de resolver o problema 1 (Figura 5), pode ser sintetizado em uma ordem que exprime como os estudantes discutiram e construíram o argumento enquanto produto acabado, ao invés da ordem cronológica dos turnos de fala, aos quais o processo argumentativo ocorreu¹².

(1) Turno: T6/T37 – Alunos B2 e B4: Neste trecho, o aluno **B2**, com a participação do aluno **B4**, estabelece os **dados** do argumento.

Turno 6 – B2 - Uma carroça exerce uma força sobre o pássaro, o pássaro exerce uma carroça sobre... ô! O pássaro...
 [risos]
 (...)

Turno 10 – B2 - Exerce uma força sobre o pássaro, o pássaro exerce uma força sobre a carroça.
 (...)

Turno 20 – B4 - É carruagem, moço. Depois a gente troca. Se a carroça exerce uma força sobre o pássaro, então...

Turno 21 – B2 - É a mesma parada do martelo. Quem anda cometendo o martelo, a do martelo é bem elaborado. Alguém tirou foto?
 (...)

Turno 37 – B2 - É isso mesmo. Ó, se uma carroça exerce uma força sobre o pássaro...

(2) Turnos: T43/T62 – Alunos B2, B3 e B4: No início desse trecho, os alunos reconhecem que o par de forças de “ação e reação” são simultâneos, ou seja, que atua no mesmo tempo (**T44**). Em outros momentos (**T43/T50** e **T61/62**), os alunos reconheceram que a força que a carruagem exerce sobre o pássaro, e vice-versa, são iguais em intensidade, direção e possuem sentidos opostos. Nesses mesmos

¹² No **Apêndice F** os turnos de fala podem ser lidos na íntegra.

turnos de fala, aluno **B2** descreve a necessidade de estabelecer a **justificativa** do argumento (**T49**). A aluna **B3** levanta uma questão: “Não é que pra toda ação existe uma reação e a intensidade é igual?” (**T50**). Após isso, o aluno **B2** descreve o que deveria ser a **conclusão** do argumento como **justificativa**: “Já que uma força de mesma intensidade, direção e sentido.” (**T53**). Ao final desses trechos, o aluno **B2** estabelece o **fundamento** do argumento (**T62**), sem explicitar o teor desta lei.

Turno 43 – B2 - Agora bota “já que”.

Turno 44 – B1 - Porque é simultâneo. É, mesma coisa.

Turno 45 – B2 - Agora a gente coloca como, que é um pássaro em ação?

(...)

Turno 47 – B2 - Já que as forças exerciam... não. Tem que ser isso mesmo...

(...)

Turno 49 – B2 - É, tem que justificar agora porque um exerce sobre o outro.

Turno 50 – B3 - Não é que pra toda ação existe uma reação e a intensidade é igual?

Turno 51 – B2 - É, já que...

Turno 52 – B3 - Pra que toda reação...

Turno 53 – B2 - É mesmo. Já que **uma força de mesma intensidade, direção e sentido**. Ponto, né não?

(...)

Turno 61 – B4 - Intensidade, direção e sentido, né?

Turno 62 – B2 - Direção e sentidos opostos. **Que é garantido pela Terceira Lei de Newton**.

(3)Turnos: T34/T39 – Alunos B1 e B2: Neste trecho, os alunos citados determinam o **qualificador** do argumento.

Turno 34 – B2 - Então, aqui tem que trocar, ó. Botar “então, **com certeza**”.

(...)

Turno 38 – B1 - Então, **com certeza**...

Turno 39 – B2 - Então, **com certeza**, o pássaro.... então, **com certeza**, o pássaro exerce uma força sobre a carroça.

(4) Turnos: T64/T81 – Alunos B1, B2, B3 e B4: Neste trecho, os alunos discutem a necessidade de uma inclusão ou não de um **refutador** para o argumento do grupo. Por fim, entram em consenso e estabelecem o argumento do grupo que visa responder o problema 1 (**T74**).

Turno 64 – B1 - Uhum. Vai refutar?-

Turno 65 – B3 - Vai ser sempre assim?

Turno 66 – B2 - Não. Se a gente refutar e dizer que não age, a gente nega a Lei, aí não pode negar a Lei.

Turno 67 – B1 - Não pode negar a Lei.

(...)

Turno 74 – B4 - Se a carroça exerce uma força sobre o pássaro, então, **com certeza**, o pássaro exerce uma força sobre a carroça, já que é uma força de mesma intensidade, direção e sentido... e sentidos opostos, que é garantido pela Terceira Lei de Newton. Pronto.

(...)

Turno 77 – B2 - Acho que não. Vai refutar? O refutador tem que corrigir. Tem que corrigir na justificativa, né?

(...)

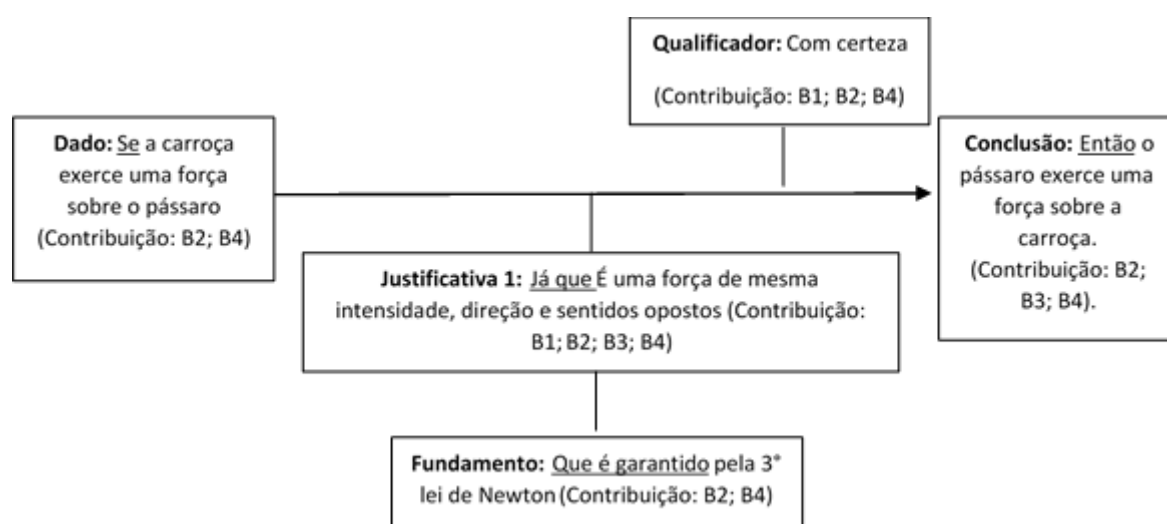
Turno 79 – B2 - Que é uma força de mesma intensidade e direção... não tem como negar isso aqui.

Turno 80 – B1 - O refutador... não. Que nem como tu falou, vai tá...

Turno 81 – B2 - Negando o próprio sentido da Lei.

O processo argumentativo, descrito no episódio acima, produziu um argumento coletivo do grupo B para resolver o problema 1, que pode ser representado de acordo com o modelo de Toulmin (2006) da seguinte forma:

Figura 7 - Argumento coletivo desenvolvido pelo grupo B para responder à questão do problema 1 sobre a Terceira Lei de Newton.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Em alguns turnos de fala, descritos na síntese do processo argumentativo que resultou no argumento coletivo elaborado pelo grupo B, os alunos expressaram uma compreensão correta a respeito da Terceira Lei. Entretanto, o argumento final descrito como representativo do grupo apresentou algumas incoerências. Por exemplo, os alunos afirmaram durante a discussão que “o pássaro exerce uma força sobre a carroça”, com “uma força de mesma intensidade [...] direção e sentidos opostos” (T39/T53), ou seja, estão afirmando que a força entre a carruagem e o pássaro, no momento do choque, são iguais. Afirmação que representa de maneira correta a resposta da questão do problema 1. Todavia, na hora da construção do argumento, isso não foi levado em consideração e a **conclusão** foi descrita de forma equivocada: “[...] o pássaro exerce uma força sobre a carroça” (T74).

Analisando os outros elementos do argumento coletivo do grupo B (Figura 7), percebemos que no lugar da **justificativa**, que não foi apresentada pelo grupo, os alunos apresentam a outra parte daquilo que seria a **conclusão**, a saber: “[...] já que é uma força de mesma intensidade, direção e sentido... e sentidos opostos [...]” (T74). Com relação ao **fundamento**, os alunos citam a Terceira Lei, mas não explicitam o seu teor.

Portanto, pela análise do argumento apresentado na Figura 7, em comparação com o argumento apresentado na Figura 4, percebemos que alguns elementos (**dado** e **qualificador**) que constituem o argumento desenvolvido pelo grupo B desempenham suas funções dentro do modelo de Toulmin, ou seja, os alunos não compreenderam, do ponto de vista formal, alguns elementos do argumento. Como resultado, o argumento recebe pontuação 1 (um) no critério Coerência Formal.

O argumento, por meio da **conclusão**, não responde à questão do problema, logo o argumento recebe pontuação 0 (zero) no critério Validade.

O argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Legitimidade, tendo em vista que a **justificativa** do argumento está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve.

O argumento também recebe pontuação 2 (dois) no critério Pertencimento, visto que o **fundamento** que dá suporte – “3° Lei de Newton” (T62) – está dentro do contexto teórico no qual o argumento é construído.

A **justificativa** do argumento do grupo B não é suficiente para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**. Assim, o argumento recebe pontuação 0 (zero) no critério Suficiência.

O argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Respaldo, pois o **fundamento** descrito é satisfatório para dar respaldo ao argumento. De maneira semelhante ao que aconteceu com o argumento do grupo A, os membros do grupo B, apesar de não explicitar o teor da Terceira Lei no argumento final, mobilizaram os conceitos relacionados a essa lei no processo de discussão que culminou no argumento representado na Figura 7 (T43/T62).

Turno 50 – B3 - Não é que pra toda ação existe uma reação e a intensidade é igual?

(...)

Turno 53 – B2 - É mesmo. Já que uma força de mesma intensidade, direção e sentido. Ponto, né não?

(...)

Turno 61 – B4 - Intensidade, direção e sentido, né?

Turno 62 – B2 - Direção e sentidos opostos. Que é garantido pela Terceira Lei de Newton.

4.2.3 ARGUMENTO ENTRE OS GRUPOS

No início deste episódio¹³, com o propósito de iniciar a discussão entre os grupos, o professor orienta que os argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos (Figura 6 e Figura 7) sejam escritos no quadro para que sejam comparados e analisados entre os grupos. Na sequência, a discussão do argumento desenvolvido pelo grupo A têm início (**T14**). Como resultado da análise do argumento do referido grupo, a aluna **A1** afirma que “[.] é irrelevante” os dados descreverem que a “velocidade constante” (**T21**). Para mais, concordam que o argumento do grupo A, por meio da conclusão, consegue resolver o problema ao qual se propõe.

Turno 14 - Professor - Então, esse é o argumento do grupo A. Cês gostariam... Quem gostaria de fazer alguma consideração a respeito desse argumento?

Turno 15 – A4 - Por que começou do A?

Turno 16 - Professor – B2, grupo A.

(...)

Turno 18 – A1 - Eu tiraria "com velocidade constante", lendo de novo.

Turno 19 - Professor - Então, a consideração que A1 faz é que ele tiraria a informação que tem ali... essa velocidade constante, A1, do argumento do grupo A se refere a que elemento do layout?

Turno 20 – A4 - Grupo A?

Turno 21 – A1 - Tá nos dados, né, mas acho irrelevante ele estar com velocidade constante.

(...)

Turno 25 - Professor - O que é que você acha, C4? Ou seja, o grupo A, ele consegue responder à questão proposta pelo problema 1? B2.

Turno 26 – B2 - Eu acho que sim.

Turno 27 - Professor - Cê acha que sim? B1.

Turno 28 – B1 - Eu acho que sim.

Turno 29 - Professor - Alguém tem alguma colocação? A ponto de discordar ou agregar ao argumento grupo A? C2.

Na sequência, o argumento do grupo B passa a fazer parte do centro da discussão entre os alunos. Segundo a aluna **A4**, o argumento não é capaz de resolver o problema, ou seja, não é capaz de responder de maneira clara “quem sofre a maior intensidade” (**T37**), o pássaro ou a carruagem.

¹³ No Apêndice G os turnos de fala podem ser lidos na íntegra.

Turno 37 – A4 - Eu acho que eles não respondem, pelo menos de forma clara, quem sofre a maior intensidade. Tipo, assim, porque não sei se falou que...

Turno 38 – A5 - Elas têm a mesma intensidade.

Turno 39 – A4 - A força que o pássaro exerce sobre a carroça...

Turno 40 – C3 - Não.

Turno 41 – A4 - A carruagem exerce uma força sobre o pássaro e o pássaro exerce uma força sobre a carroça, mas ele não falou sobre a intensidade dessas forças. Acho que deveria ter um acréscimo nessa parte.

Turno 42 - Professor - Em termos...

Turno 43 – A4 - Que essas intensidades dessa força são iguais, são diferentes, acho que faltou isso.

Turno 44 - Professor - Mais alguém tem outra consideração a ser feita? Pra incluir... sim, A1.

No decorrer do episódio, a aluna **A1** afirma que a **justificativa** do argumento apresenta a resposta para o problema. Na concepção dela, “[...] isso era pra ser a conclusão deles, que essas forças teriam a mesma intensidade” (**T66**). Na sequência, a partir da participação de diferentes alunos (**A1, A4, A5, B2**), é estabelecido que a **conclusão** do argumento deve responder à questão do problema. Todavia, o argumento do grupo B não consegue realizar essa tarefa (**T72/T99**).

Turno 66 – A1 - Tipo assim, a conclusão, que é pra ser a resposta pra pergunta. Pelo que eu entendo do layout. A justificativa deles que é a resposta pra pergunta. Se a resposta seria, tipo, vocês chegam a concluir de uma for... tipo, é uma força de mesma intensidade... vamos pegar isso. Só que isso é a justificativa deles. E isso era pra ser a conclusão deles, que essas forças teriam a mesma intensidade.

Turno 67 - Professor - Então, cê tá dizendo que a conclusão, que deveria ser a resposta do problema deles, está na justificativa?

Turno 68 – A1 - Isso.

Turno 69 - Professor - Mas, aí eu pergunto mais uma vez: Mas, qual é o papel da justificativa?

(...)

Turno 72 – A5 - Eu acho que tá no lugar correto. Porque a conclusão era pra dizer no sentido da força, no caso, certo. Ai, eu não consigo falar alto. A conclusão, no caso, seria pra dizer a intensidade da força, né isso? Mas, pra explicar isso aí, a gente precisaria falar também sobre a intensidade. Eu acho que a justificativa tá coerente, mas só que tá um pouco confusa. Pelo menos, pra mim. Tá meio desconce...

Turno 73 - Professor - O que é que cê acha, A1, da colocação de A5, depois de sua fala?

Turno 74 – A1 - Eu achei, como eu tinha colocado antes, achei que ficou um pouco... parece que encaixou. Não sei. Porque a gente, tipo, a gente sabe ali, ali aquele pedaço da justificativa de vocês é a parte da Terceira Lei, que fala sobre a questão da aceleração, que a força seria de mesma intensidade e sentido contrário. Sentido contrário e mesma direção. Então, isso aí pegou, tá ali. Mas, assim, do jeito como que tava vindo, sendo montado o argumento, parece que esse pedaço, ele simplesmente foi encaixado ali. "Ah, a gente precisa botar isso". Pronto, aí botou. Na minha visão, não sei como foi a construção. Então...

(...)

Turno 76 – B2 - Eu tô pensando assim. Quando a gente fala que se a carruagem exerce uma força sobre o pássaro e o pássaro exerce uma força

sobre a carruagem, a justificativa que tem é que essa força é igual, a intensidade dos dois sofre a mesma intensidade.

Turno 77 - Professor - Mas qual a pergunta do problema?

Turno 78 – B2 - Quem sofre uma força com maior intensidade? Se pela Lei, a ação e reação acontece simultaneamente, então, os dois sentem a mesma intensidade simultaneamente.

(...)

Turno 85 – A4 - É porque na conclusão você não colocou a resposta para a pergunta. Outro raciocínio de dizer que as intensidades são iguais, está certo. Entendeu? O problema é que escreveu o argumento que vocês não colocaram na conclusão, que a conclusão é a resposta para a pergunta, que seriam os dados, vocês não colocaram que essa intensidade é...

Turno 86 – A5 - Que é a mesma.

Turno 87 – A4 - Que é a mesma. A ideia de ser a mesma, a gente não tá discordando nisso, é só o momento que você descreveu como foi construído.

(...)

Turno 91 – A2 - Porque a gente tá dizendo que um pássaro exerce uma força sobre a carroça.

Turno 92 – A5 - Fala alto.

Turno 93 – A4 - Mas não fala que a carroça também exerce uma força sobre o pássaro. Acho que seria isso, não? Porque na pergunta, por exemplo...

Turno 94 – A1 - Não, ele fala nos dados.

Turno 95 – A4 - Na pergunta...

Turno 96 – A1 - Ele fala nos dados isso.

Turno 97 – A4 - Na pergunta ele fala "faz... qual sofre a maior intensidade?" e na conclusão não tá falando sobre a intensidade.

(...)

Turno 99 – A4 - Se na justificativa aparecer a intensidade, eu concordo com A5 porque de qualquer forma vai aparecer, quando você for justificar sua conclusão, vai aparecer que a intensidade é a mesma, mas na conclusão não responde à pergunta. Para...

A discussão sobre o argumento do grupo C teve o **qualificador** como ponto central.

Turno 107 – A1 - Acho que o qualificador. Se a gente ler, por exemplo, quando vejo botando "pela Terceira Lei de Newton a qual diz que pra toda ação...", nesse termo aí. "Pra toda ação", ele já tá...meio que botando que "com certeza". Pra toda a força de que eu tiver de uma ação e reação, esse par, eu vou ter essa outra força com a mesma intensidade. Então, é "com certeza". Eles montam o argumento com... usando essa ideia, né, de que, tipo, ó: a intensidade vai ser a mesma, a conclusão tá certíssima... pelo menos, eu acho, né? Não sei. Os dados, certo, pelo que a questão dá. Aí, eu... faltou o qualificador, que eles botam no... tipo, dá pra perceber que tá ali na Terceira Lei, quando eles enunciam, né, a Terceira Lei. "Pra toda ação", tipo, ele já tá definindo que pra... o qualificador, de certa forma, é... já tá aí. Só faltou mensurar, né?

Turno 108 - Professor - Mais alguma colocação?

Turno 109 – A5 - Mas, se você for levar em consideração qual... se levar em consideração o qualificador, o todo, eu acho que, pra mim, já significa dizer que tudo ali vai ser Newton, com certeza aquilo ali vai ter.

(...)

Turno 113 – A5 - Então, se fosse um qualificador...

Turno 114 – A1 - Tá ali, mas não tá como qualificador, entendeu?

(...)

Turno 116 – A1 - Ele tá na fundamentação. Ele tá intrínseco ali, mas ali, tipo...

Turno 117 – A5 - Isso.

Turno 118 – A1 - Só pegaria e botava ele, é assim, a gente não botou porque a gente não enunciou a Lei.

(...)

Turno 120 – A1 - Mas, se a gente enunciasse a Lei, a gente estaria, tipo, só confirmando o que a gente falou lá atrás.

Turno 121 – A5 - Que não estava fundamentado.

(...)

Turno 152 – A4 - Não, eu ia falar que acho que o argumento do grupo C, se colocar só o qualificador, ele tá mais completo no sentido, tem mais detalhes. Talvez, alguns... não sei, se são tão necessários pra responder a pergunta, mas...

Turno 153 - Professor - E em suas palavras, como é que você colocaria o argumento do grupo C? Com os ajustes que você disse serem necessários para...

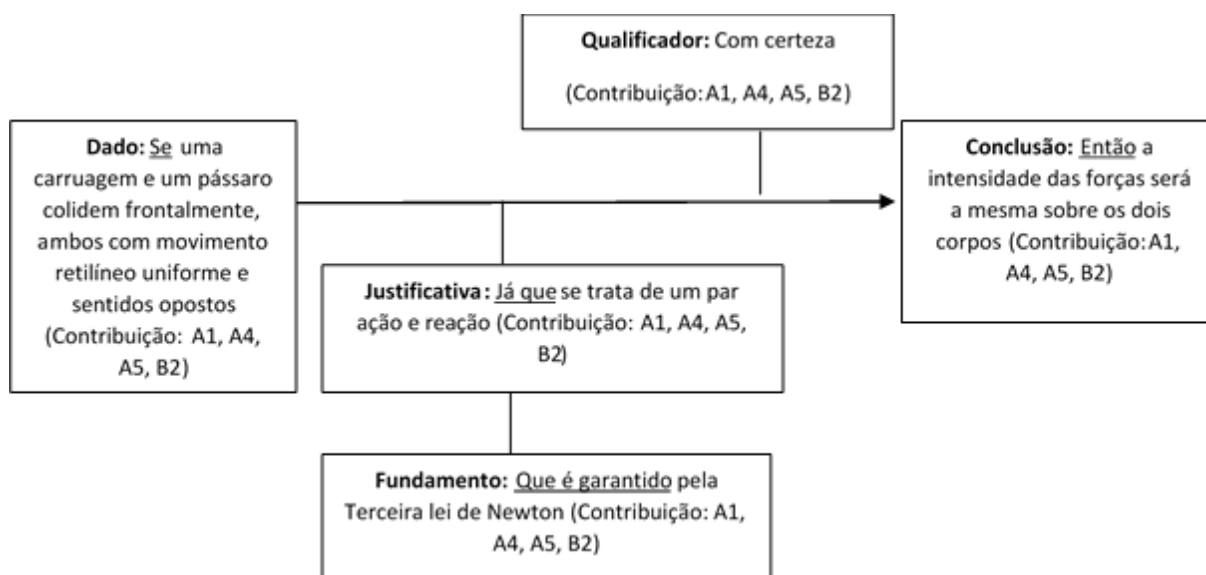
Turno 154 – A4 - Só é necessário o qualificador.

Turno 155 - Professor - Como é que então você elaboraria, como você expressaria esse argumento?

Turno 156 – A4 - A mesma que tá ali, ó: Se uma carruagem e um pássaro colidem frontalmente, ambos com movimento retilíneo uniforme e sentidos opostos, então, com certeza, a intensidade das forças será a mesma, já que se trata de um par ação e reação, que é fundamentado pela Terceira Lei de Newton, a qual diz que para toda ação há uma reação...

A discussão com mediação do professor produziu um argumento coletivo entre os grupos que pode ser representado da seguinte forma:

Figura 8: Argumento coletivo desenvolvido entre os grupos.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir da análise do argumento da Figura 8, em comparação com o argumento representado na Figura 4, podemos inferir que alguns dos elementos que compõem o argumento desempenham suas funções. A exceção se refere ao

fundamento, tendo em vista que os alunos citam a Terceira Lei sem mobilizar a referida lei, ou seja, sem explicitar o seu teor. Como resultado, o argumento recebe pontuação 1 (um) no critério Coerência Formal.

O argumento, por meio da **conclusão**, responde à questão do problema de maneira correta. Assim, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Validade.

A partir da análise da **justificativa** do argumento, que tem a função de estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Legitimidade, tendo em vista que a **justificativa** está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve.

O **fundamento** que dá suporte à **justificativa** do argumento pertence ao contexto teórico ao qual o argumento se desenvolve. Consequentemente, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Pertencimento.

A **justificativa** do argumento é suficiente para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**. Como resultado, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Suficiência.

Assim como ocorreu com os argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos, apesar de não explicitar o teor da Terceira Lei de Newton no argumento final, existem indícios que os alunos mobilizaram a Terceira Lei no processo de discussão que produziu o argumento coletivo entre os grupos para solucionar o problema (**T43; T74; T107**).

Turno 43 – A4 - Que essas intensidades dessa força são iguais, são diferentes, acho que faltou isso.

(...)

Turno 74 – A1 - Eu achei, como eu tinha colocado antes, achei que ficou um pouco... parece que encaixou. Não sei. Porque a gente, tipo, a gente sabe ali, ali aquele pedaço da justificativa de vocês é a parte da Terceira Lei, que fala sobre a questão da aceleração, que a força seria de mesma intensidade e sentido contrário. Sentido contrário e mesma direção. Então, isso aí pegou, tá ali. Mas, assim, do jeito como que tava vindo, sendo montado o argumento, parece que esse pedaço, ele simplesmente foi encaixado ali. "Ah, a gente precisa botar isso". Pronto, aí botou. Na minha visão, não sei como foi a construção. Então...

(...)

Turno 107 – A1 - Acho que o qualificador. Se a gente ler, por exemplo, quando vejo botando "pela Terceira Lei de Newton a qual diz que pra toda ação...", nesse termo aí. "Pra toda ação", ele já tá...meio que botando que "com certeza". Pra toda a força de que eu tiver de uma ação e reação, esse par, eu vou ter essa outra força com a mesma intensidade. Então, é "com certeza". Eles montam o argumento com... usando essa ideia, né, de que, tipo, ó: a intensidade vai ser a mesma, a conclusão tá certíssima... pelo menos, eu acho, né? Não sei. Os dados, certo, pelo que a questão dá. Aí,

eu... faltou o qualificador, que eles botam no... tipo, dá pra perceber que tá ali na Terceira Lei, quando eles enunciam, né, a Terceira Lei. "Pra toda ação", tipo, ele já tá definindo que pra... o qualificador, de certa forma, é... já tá aí. Só faltou mensurar, né?

Logo, o **fundamento** do argumento é satisfatório para dar respaldo à **justificativa**. Diante disso, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério *Respaldo*.

4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Podemos classificar o nível de aprendizagem (NA)¹⁴ dos alunos sobre a Terceira Lei de Newton, antes da aplicação da Sequência Didática, da seguinte forma:

Quadro 7 - Nível de aprendizagem da Terceira Lei de Newton antes da aplicação da Sequência Didática.

Aluno(a) (Símbolo)	Semestre	Físicas Básicas Cursadas				NA
		I	II	III	IV	
A1	7°	X	X	X	X	5
A2	7°	X	X	X		4
A3	5°	X				0
A4	7°	X	X	X		5
A5	9°	X	X	X		6
B1	5°					3
B2	7°		X	X	X	5
B3	7°					3
B4	7°					3

Fonte: Elaborada pelos autores.

Entre as características da Terceira Lei de Newton que foram mobilizadas pelos alunos ao responderem às questões do pré-teste, destacamos que os alunos tiveram dificuldade de: generalizar que o par de forças de “ação e reação” é sempre igual em intensidade e direção, mas sempre oposto em sentido, independentemente do contexto; definir o par de forças de “ação e reação” como simultâneo; reconhecer que o par de forças “ação e reação” é aplicado em corpos diferentes e, conseqüentemente, que os efeitos sobre esses corpos são diferentes, pois depende da massa destes, e não produzem uma condição de equilíbrio.

¹⁴ Conforme o Quadro 1, o nível de aprendizagem representa o número de características da terceira lei de Newton mobilizadas pelos alunos.

Após a análise das questões do pré-teste, é possível afirmar que em um primeiro momento todos os alunos, com exceção do aluno **A3**, reconheceram que se um corpo exerce uma força sobre outro, o segundo também exerce uma força sobre o primeiro, com uma força de igual intensidade, de sentido oposto e com a mesma linha de ação (Questão 1). Todavia, nas questões 4 e 9, os alunos **B1**, **B3** e **B4** foram contrários à igualdade do par de forças de “ação e reação” e não foram capazes de reconhecer que esse par atua em corpos diferentes e não podem produzir uma condição de equilíbrio. Conseqüentemente, os efeitos das forças de ação e reação sobre cada um dos corpos envolvidos pode ser diferente, pois depende de suas massas.

Todos os alunos citados acima, não definiram a “ação e reação” como uma única interação que atua de maneira simultânea em dois corpos, mas como se fossem independentes. Ademais, os referidos alunos só conseguiram responder questões em que o enunciado apresentava característica da Terceira Lei. Em outros termos, não foram capazes de aplicar a Terceira Lei em contextos específicos, ou seja, em questões que apresentavam situações nas quais o aluno tinha que aplicar a teoria para resolver uma situação problema. Nessas questões, o assunto estava mais distante da formalização da lei. Assim, o que se observa é que os alunos não conseguem justificar suas respostas e demonstram uma aprendizagem limitada sobre o assunto, tendo em conta que o sujeito aprende quando é capaz de realizar um processo de assimilação de signos e significados quando consegue aplicá-los em diferentes contextos (PINO, 1993).

A aluna **A5**, apesar de apresentar uma resposta inconclusiva na questão 2, conseguiu mobilizar todas as características da Terceira Lei de maneira correta (Nível 6). Os demais alunos apresentam uma aprendizagem limitada na da Terceira Lei de Newton. Essa limitação é mais evidente nas respostas dos alunos **B1**, **B3** e **B4**, que só conseguiram mobilizar três características da Terceira Lei de Newton (Nível 3), isto é, só foram capazes de reconhecer que o par de forças de “ação e reação” possui a mesma intensidade, direção e sentidos opostos. Esses alunos não haviam cursado a disciplina de Física I, onde são estudados os fundamentos da mecânica newtoniana. Diante disso, nossa hipótese é que isso interferiu substancialmente nas respostas dos alunos.

Os alunos **A1**, **A4** e **B2** também não apresentaram uma aprendizagem plena da Terceira Lei. Todavia, diferente dos demais alunos, conseguiram mobilizar e aplicar a Terceira Lei de maneira correta em alguns contextos (Nível 5). Esses alunos não conseguiram definir que o par de forças de “ação e reação” atua de maneira simultânea. Destacamos o aluno **B2**, que não havia cursado a disciplina de Física I. Em contrapartida, aluno **A3**, apesar de ter passado pela disciplina de Física I, não apresentou uma aprendizagem a respeito do assunto e não conseguiu responder de maneira correta a nenhuma questão do pré-teste. A aluna **A2** apresentou uma aprendizagem limitada com relação a duas características da Terceira Lei de Newton, isto é, não reconheceu que o par de forças de “ação e reação” é simultâneo, nem que não produzem uma condição de equilíbrio, pois são aplicadas em corpos diferentes (Nível 4).

Os argumentos elaborados pelos futuros professores de Física, durante a atividade em pequenos grupos e entre grupos com mediação do professor, receberam as seguintes pontuações:

Quadro 8 - Comparação das pontuações dos argumentos elaborados na Sequência Didática.

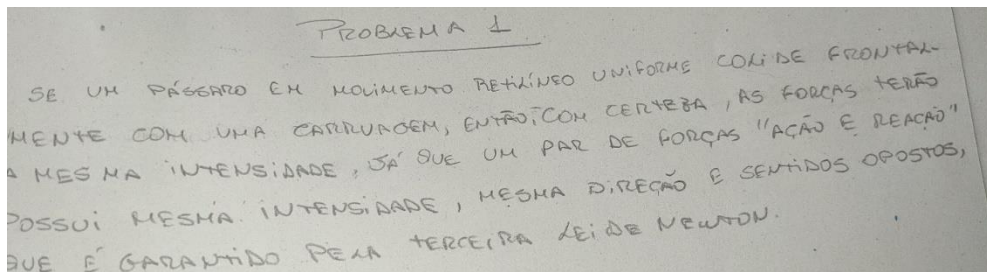
	C			V			L			P			S			R		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Grupo A	1			2			2			2			2			2		
Grupo B	1			0			2			2			0			2		
Entre Grupos	1			2			2			2			2			2		

Fonte: Elaborado pelos autores.

O grupo A, por exemplo, foi capaz de empregar a Terceira Lei de Newton para construir um argumento que responde ao problema proposto (Figura 5). Todavia, em comparação ao resultado do pré-teste, só é possível identificar uma mudança no nível de mobilização de características da Terceira Lei de Newton no aluno **A3**. Nossa inferência leva em consideração que esse aluno, diferente do que ocorreu no pré-teste, foi capaz de construir um argumento individual, após a discussão entre os grupos e sem consulta, e descrever que o par de forças de “ação e reação” que atua entre dois corpos são iguais em intensidade e direção, mas são opostas em sentido

(Imagem 1). Portanto, o nível de mobilização de características da Terceira Lei de Newton passou de 0 (zero) para 3 (três).

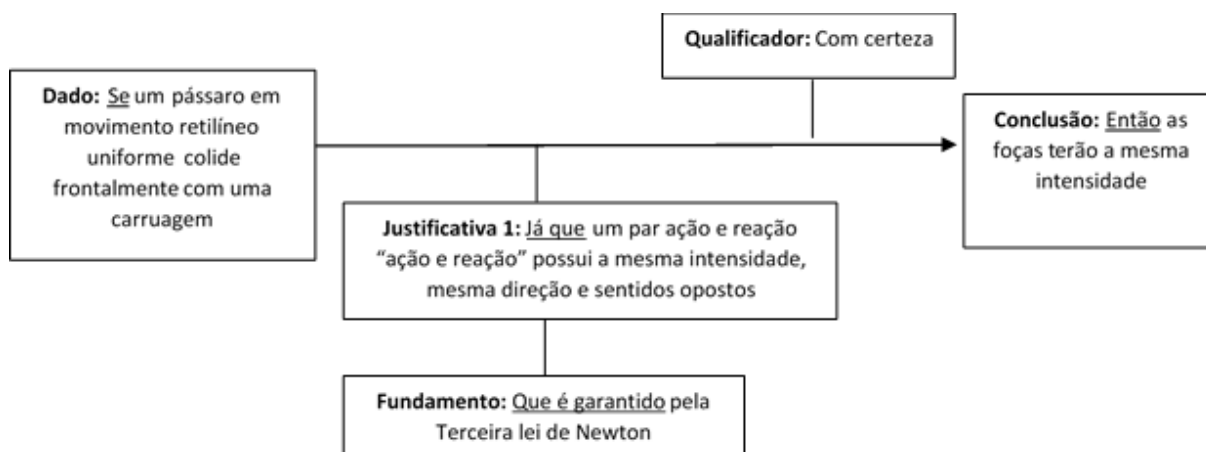
Imagem 1 - Argumento individual do aluno A3.



Fonte: Próprio autor.

O argumento do aluno **A3** pode ser representado da seguinte forma:

Figura 9 - Argumento individual do aluno A3.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir da análise do argumento da Figura 9, em comparação com o argumento representado na Figura 4, é possível inferir que alguns elementos do argumento desempenham suas funções. Assim, o argumento recebe pontuação 1 (um) no critério Coerência Formal. Assim como ocorreu nos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos e entre os grupos com mediação do professor, o aluno **A3** apenas cita a Terceira Lei e não explicita o seu teor.

A **conclusão** do argumento responde à questão do problema de maneira correta. Logo, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Validade.

Tendo em vista que a **justificada** está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Legitimidade

O **fundamento** que dá suporte à **justificativa** do argumento pertence ao contexto teórico ao qual o argumento se desenvolve. Como resultado, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Pertencimento.

A **justificativa** é suficiente para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**. Por consequência, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Suficiência.

Apesar de não citar o teor da Terceira Lei de Newton no momento que estabelece o **fundamento** de seu argumento, o aluno **A3** explicita o teor da Terceira Lei, de maneira correta, ao estabelecer a **justificativa**: “[...] um par ação e reação “ação e reação” possui a mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos”. Assim, o **fundamento** é satisfatório para dar respaldo à **justificativa** do argumento. Como resultado, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Respaldo.

No pré-teste, o aluno **A3** foi o único membro do grupo A que não foi capaz de mobilizar nenhuma característica correta da Terceira Lei de Newton (Nível 0). Todavia, apesar de não apresentar o teor da Terceira Lei de Newton em seu argumento final, construído de maneira individual e sem consulta, a partir da comparação entre os argumentos acima, percebemos que o aluno **A3** ao estabelecer a **justificativa** do seu argumento, descreveu, com suas palavras, que o par de forças de “ação e reação” possui a mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos. Assim, inferimos que ele foi capaz de mobilizar conhecimento científico específico para apoiar a **conclusão** de seu argumento que responde ao problema. Por fim, diante da análise dos argumentos desenvolvidos pelo grupo A, elaborados de maneira coletiva e individual, é possível afirmar que a Sequência Didática parece ter contribuído para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton. Por consequência, o nível de características mobilizadas de maneira correta pelo aluno **A3** melhorou após a aplicação da Sequência Didática, passando de 0 (zero) para 3 (três).

Um simples ato de memorizar um termo característico da Terceira Lei, sendo capaz de expressá-lo durante a resolução de um problema que envolve esse tema,

relaciona-se com a capacidade do aluno de realizar um tipo de organização sistemática, que está diretamente relacionado com a internalização de conceitos (VYGOTSKY, 2001). Sendo assim, a expressão de um pensamento, a partir da construção de argumentos, define um estágio de desenvolvimento dentro do processo de aprendizagem da Física (BARBOSA; BATISTA, 2018), tendo em vista que a linguagem tem a capacidade de estruturar o pensamento e de torná-lo externo (LIMA; SILVA, 2020; VYGOTSKY, 2001).

O argumento coletivo desenvolvido pelo grupo B (Figura 7) apresenta problemas de estrutura e conteúdo, considerando-se que apenas alguns dos componentes desempenham suas funções. Além disso, a **conclusão** não responde à questão do problema de maneira correta e a **justificativa** não é suficiente para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**. Apesar disso, durante o processo argumentativo que culminou na construção do respectivo argumento, alguns alunos foram capazes de expressar algumas características da Terceira Lei que não foram mobilizadas no pré-teste. Na concepção de Vygotsky (1987; 2001), o “pontapé inicial” do processo de internalização de conceitos advém da percepção das características de um conceito. Portanto, o simples ato de expressar o conceito durante a construção de argumentos envolve a capacidade do aluno em internalizar um conceito. Isso envolve o ato de “tomar consciência de alguma operação significa transferi-la do plano da ação para o plano da linguagem, isto é, recriá-la na imaginação para que seja possível exprimi-la em palavras ” (VIGOTSKI, 2001, p. 275).

No início da discussão do grupo B, os alunos procuram justificar o argumento, que tem início a partir da fala de **B1 (T11)**. Diante disso, **B2** descreve que a força que o pássaro e a carroça exercem um sobre o outro formam “[...] um par de ação e reação”. Todavia, o argumento final do grupo não levou em consideração esse aspecto, manifestado no decorrer do processo argumentativo, para justificar o argumento. Como resultado, o argumento recebeu pontuação 0 (zero) no critério *Suficiência*.

Turno 11 – B1 - Já que?

Turno 12 – B2 - Formam um par ação e reação.

Turno 13 – B1 - Não entendi.

Turno 14 – B2 - Já que formam um par ação-reação, no caso.

Turno 15 – B1 - É.

O aluno **B1**, com o objetivo de explicar o motivo pelo qual a carroça exerce uma força sobre o pássaro, e vice-versa (**T39**), afirma que isso ocorre “porque é simultâneo” (**T44**). No texto didático utilizado na Sequência Didática, esse termo é utilizado para caracterizar que não há uma diferença temporal de causa e efeito da ação em relação à reação, apenas uma interação mútua, simultânea, entre dois corpos (NEWTON, 1999). No decorrer na discussão o mesmo aluno questiona: “Não é que pra toda ação existe uma reação, e a intensidade é igual?” (**T50**).

Turno 37 – B2 - É isso mesmo. Ó, se uma carroça exerce uma força sobre o pássaro...

Turno 38 – B1 - Então, com certeza...

Turno 39 – B2 - Então, com certeza, o pássaro.... então, com certeza, o pássaro exerce uma força sobre a carroça.

(...)

Turno 44 – B1 - Porque é simultâneo. É, mesma coisa.

(...)

Turno 49 – B2 - É, tem que justificar agora porque um exerce sobre o outro.

Turno 50 – B3 - Não é que pra toda ação existe uma reação, e a intensidade é igual?

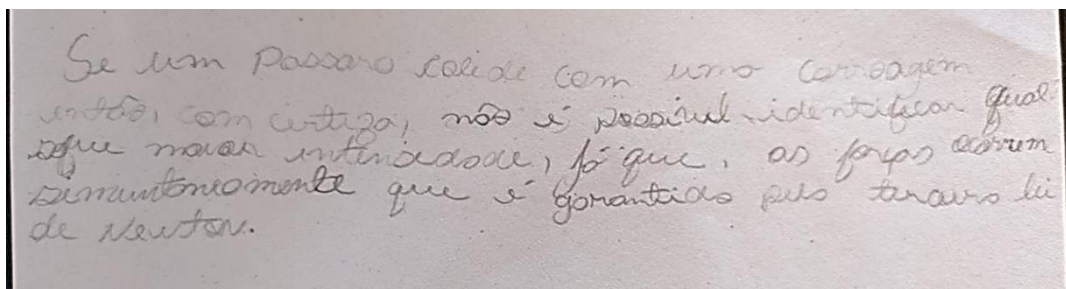
Em nenhuma passagem do episódio argumentativo o aluno **B1** explica o emprego do termo simultâneo. No entanto, a utilização do termo simultâneo pelo aluno **B1**, pode ser tomada como quase-reprodutora, que se refere a um ato de imitação, ou repetição de uma característica da Terceira Lei de Newton (PINO, 1993). Para mais, também pode ser associada à formação espontânea de conceitos, que envolve a capacidade de utilizar e/ou verbalizar um conceito, que neste caso envolve uma das características da Terceira Lei, sem ser capaz de explicá-lo (VYGOTSKY, 2001). Nesse contexto, Vygotsky afirma que:

[...] o processo de transição do pensamento para a linguagem é um processo sumamente complexo de decomposição do pensamento e sua recriação em palavras. Exatamente porque um pensamento não coincide não só com a palavra, mas também com os significados das palavras é que a transição do pensamento para a palavra passa pelo significado. (2001, p. 478).

O processo de aprendizagem de um conceito se inicia a partir do momento que o aluno tem contato com ele pela primeira vez. Como resultado, o nível de características mobilizadas pelo aluno **B1** melhorou, passando de 3 (três) para 4(quatro).

Entre os membros deste grupo B, a relação entre o papel da Sequência Didática no processo de aprendizagem é mais explícita entre os alunos **B1**, **B3** e **B4**.

Imagem 2 - Argumento individual do aluno B1.



Fonte: Próprio autor.

A partir da análise do argumento construído de maneira individual pelo aluno **B1** (Imagem 2), em comparação com o argumento da Figura 4, podemos afirmar que alguns elementos que compõem o argumento desempenham suas funções. O aluno **B1** apenas cita a Terceira Lei de Newton, sem deixar explícito o seu teor. Como resultado, o argumento recebe pontuação 1 (um) no critério Coerência Formal.

A **conclusão** do argumento não responde à questão do problema de maneira correta. Logo, o argumento recebe pontuação 0 (zero) no critério Validade.

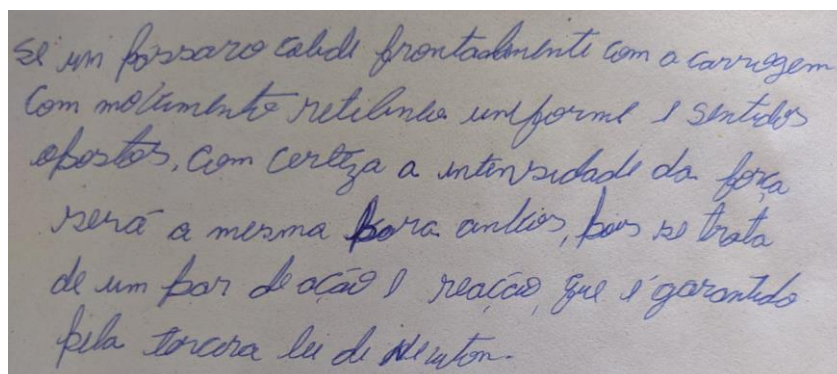
A **justificativa** está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve. Diante disso, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Legitimidade.

O **fundamento** que dá suporte à **justificativa** pertence ao contexto teórico ao qual o argumento é construído. Assim, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Pertencimento.

A **justificativa** é parcialmente suficiente para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**, tendo em vista que o aluno não cita todas as características da Terceira Lei que possuem a capacidade de legitimar a passagem entre os **dados** e a **conclusão**. Portanto, o argumento recebe pontuação 1 (um) no critério Suficiência.

O **fundamento** não é satisfatório para dar respaldo à **justificativa**, haja vista que o aluno **B1** não mobiliza a lei que dá suporte à **justificativa**. Por consequência, o argumento recebe pontuação 0 (zero) no critério Respaldo.

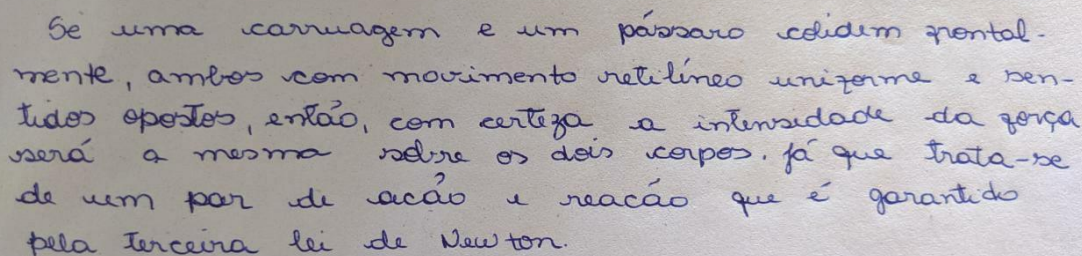
Imagem 3 - Argumento individual da aluna B3.



Se um pássaro colide frontalmente com a carruagem com movimento retilíneo uniforme e sentidos opostos, com certeza a intensidade da força será a mesma para ambos, pois se trata de um par de ação e reação, que é garantido pela terceira lei de Newton.

Fonte: Próprio autor.

Imagem 4 - Argumento individual do aluno B4.



Se uma carruagem e um pássaro colidem frontalmente, ambos com movimento retilíneo uniforme e sentidos opostos, então, com certeza a intensidade da força será a mesma sobre os dois corpos, já que trata-se de um par de ação e reação que é garantido pela terceira lei de Newton.

Fonte: Próprio autor.

Os argumentos elaborados pela aluna **B3** (Imagem 3) e pelo aluno **B4** (Imagem 4) são semelhantes e serão analisados de maneira conjunta. Comprando os argumentos da Imagens 3 e 4 com o argumento da Figura 4, é possível concluir que alguns elementos dos argumentos desempenham suas funções. Como resultado, e pelo mesmo motivo destacado no argumento do aluno **B1**, o argumento recebe pontuação 1 (um) no critério Coerência Formal.

Esses argumentos, por meio da **conclusão**, respondem de maneira correta às questões do problema, logo o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Validade.

O argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério Legitimidade, tendo em vista que a **justificativa** está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve.

O argumento também recebe pontuação 2 (dois) no critério Pertencimento, visto que o **fundamento** está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve.

A **justificativa** é suficiente para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**. Portanto, o argumento recebe pontuação 1 (um) no critério Suficiência.

O argumento recebe pontuação 0 (zero) no critério Respaldo, pois o **fundamento**, pelos mesmos motivos do argumento construído pelo aluno **B1**, não é satisfatório para dar respaldo à **justificativa**.

Na análise do pré-teste, os alunos do grupo B não mobilizaram de maneira correta todas as características da Terceira Lei de Newton. No entanto, a análise dos argumentos individuais da aluna **B3** e do aluno **B4** nos mostrou que eles utilizaram justificativas e fundamentos que pertencem ao contexto teórico no qual o argumento é construído. Todavia, não conseguiram mobilizar conhecimento científico específico para fundamentar a conclusão de seus argumentos. Neste caso, não é possível identificar uma mudança no nível de características corretas que foram mobilizadas por esses alunos.

Os alunos foram capazes, em algumas situações, de mobilizar o conhecimento científico que envolve a Terceira Lei, para elaborar argumentos que resolvem um problema, dentro de um contexto específico. Assim, por intermédio da interação social entre os membros do grupo, parecem ter expressado na forma de um argumento, um ato de pensamento que se relaciona com o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton (OLIVEIRA, 2010; VYGOTSKY, 2001). Nesse cenário, o diálogo reflete o processo de aprendizagem de um conceito, considerando-se que a aprendizagem de um conceito se forma inicialmente a partir de sua definição verbal (VYGOTSKY, 2001; WENZEL, 2017).

Segundo Sampson e Clark (2008), existe uma relação direta entre argumentação e o conhecimento pelo qual se argumenta. A partir dessa perspectiva, os alunos só são capazes de mobilizar o conteúdo científico para apoiar a conclusão de um argumento, desde que tenham uma compreensão adequada do assunto pelo qual se argumenta (SCHWARZ et al., 2003). Portanto, esse é um resultado importante de nosso artigo, pois também destaca que a Sequência Didática foi capaz de contribuir para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton,

haja vista que a internalização de conceitos se dá a partir da mobilização dos mesmos em situações específicas em que estes são necessários, como, por exemplo, a resolução de problemas sobre determinado fenômeno científico (BARBOSA; BATISTA, 2018).

Durante o processo argumentativo que culminou na construção dos argumentos durante a atividade em pequenos grupos, os alunos se envolveram em discussões e foram capazes de mobilizar, em alguns casos, a Terceira Lei de Newton para respaldar suas justificativas. Logo, podemos afirmar que essa atividade parece ter favorecido o processo de aprendizagem da Terceira Lei, tendo em vista que esse processo se desenvolve através da interação social, ou seja, é a partir de negociações e disputas com outros sujeitos (OLIVEIRA, 2010; VYGOTSKY, 2001). Isso ocorre na medida em que:

O mecanismo de aprendizagem que opera na argumentação se define, portanto, como um processo de revisão de pontos de vista, que decorre diretamente do confronto de um argumento com a oposição (críticas, dúvidas etc.) e da necessidade de a elas responder. (LEITÃO, 2011, p. 25).

Durante a atividade entre grupos com mediação do professor, os alunos tiveram a oportunidade de confrontar os argumentos elaborados nos pequenos grupos. Ao longo dessa atividade, ocorreram desacordos e disputas entre os alunos. Como resultado, foi construído um argumento coletivo, que apesar de apresentar problemas estruturais, respondeu ao problema de maneira correta, a partir de justificativas e fundamentos pertencentes ao contexto teórico de construção do argumento. Para construir o argumento, os alunos estabeleceram todas as justificativas capazes de legitimar a relação entre os dados e a conclusão, a partir de fundamento satisfatório para dar respaldo à justificativa.

A discussão entre grupos com mediação do professor enriqueceu a discussão e proporcionou um engajamento dos alunos no processo de aprendizagem por intermédio da argumentação (ARCHILA, 2015). Diante dessas considerações, existem indícios que as atividades em pequenos grupos e entre grupos tenham contribuído para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton a partir de interações sociais intermediados pela linguagem. Nesse contexto, possibilitou aos futuros professores de Física a oportunidade de reafirmar seus pontos de vistas a

respeito da Terceira Lei de Newton, que caracteriza “um novo estado no processo de apropriação/entendimento do tema em questão” (LEITÃO, 2011, p. 28). Esse é um resultado importante, tendo em vista que para que os sujeitos possam se desenvolver no ensino de Ciências fundamentado pela argumentação é necessário que oportunidades sejam criadas (MENDONÇA; JUSTI, 2013; VYGOTSKY, 2001).

De acordo com a teoria histórico-cultural, o professor deve buscar meios para tornar o ensino profícuo, assim favorecer o processo de aprendizagem de conceitos no contexto da sala de aula (OLIVEIRA, 2010). Na aplicação da Sequência Didática, o professor proporcionou aos alunos a possibilidade de confrontar os argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos. Por intermédio de perguntas e inferências, orientou a discussão e permitiu a ocorrência de interações argumentativas. Por fim, forneceu um *feedback* para sistematizar o resultado e o final da discussão. Do exposto, existem indicativos que o professor, enquanto o agente mais experiente, que conhece o conteúdo abordado, contribuiu para o processo e aprendizagem da Terceira Lei de Newton.

O ambiente é o primeiro fator de influência no processo de aprendizagem, que se desenvolve na medida em que ocorre a troca de signos (significados, expressões e conceitos) entre os sujeitos educandos e o professor, ou entre um colega mais experiente (VYGOTSKY, 2001). A análise anterior dos argumentos individuais, em comparação com os argumentos coletivos, com exceção do aluno **B1**, parece mostrar que os alunos, de maneira individual, internalizaram os argumentos estruturados de maneira coletiva, que envolveu a participação de todos os alunos. Como resultado, conseguiram elaborar um argumento que responde ao problema proposto.

Os conhecimentos prévios dos alunos são relevantes para que esses sejam capazes de participarem da discussão e mobilizar conhecimento científico no processo de construção de argumentos (CROSS; HICKEY, 2008; MENDONÇA; JUSTI, 2013; SILVA; TEIXEIRA, 2021b). Conseqüentemente, a participação dos alunos nas discussões, realizando perguntas e/ou acrescentando informações relevantes para a construção dos argumentos, está diretamente relacionado com esses conhecimentos. Em nosso estudo, todos os alunos realizaram a leitura prévia do texto de natureza histórica desenvolvido para ser utilizado na Sequência Didática.

Para mais, no decorrer do processo argumentativo, o professor realizou intervenções com o propósito de incentivar a participação, obtendo êxito em alguns casos. Apesar disso, durante a discussão entre os grupos, percebemos que os alunos com os melhores resultados no pré-teste eram, na maioria, os mesmos que participavam da construção do argumento coletivo.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente artigo, nosso objetivo foi investigar como uma Sequência Didática, caracterizada pelo uso didático da argumentação, pode contribuir para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton, de estudantes da Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana. Conforme a metodologia que orienta esse artigo declaramos o seguinte princípio de *design*: O Ensino de Física pela argumentação pode favorecer a aprendizagem de conceitos científicos de estudantes de um curso de Licenciatura em Física.

Em conformidade com o referencial teórico que sustenta nosso estudo, reconhecemos que o processo de aprendizagem se desenvolve na medida que nossas percepções de um determinado conceito, integrado as sensações e experiências anteriores a ele, são transferidos do plano da consciência para o plano da linguagem (VYGOTSKY, 2001). Deste modo, a internalização de um novo signo realiza uma atividade psicológica que causa uma mudança na estrutura conceitual do sujeito educando, caracterizando o processo de aprendizagem de conceitos (BISPO, 2019). Portanto, os argumentos desenvolvidos pelos alunos ao longo da aplicação da Sequência Didática, assim como o processo argumentativo voltado para a construção destes, exprimem uma representação da aprendizagem dos futuros professores de Física acerca da Terceira Lei de Newton.

Realizamos uma análise qualitativa dos dados, levando em consideração o conhecimento científico reconhecido pela comunidade especializada, que compõem os manuais de ensino, articulado às características da teoria histórico-cultural adotadas. Como resultado, é possível inferir que a Sequência Didática gerou diferentes situações pelas quais os alunos interpretaram e aplicaram a Terceira Lei de Newton na construção de argumentos. Em alguns casos, foi possível identificar

uma mudança no nível de características mobilizadas da Terceira Lei. Em função disso, assim como foi discutido na seção anterior, podemos afirmar que existem indícios que a Sequência Didática, caracterizada pelo uso didático da argumentação, contribuiu para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton. Portanto, os nossos resultados apontam que os alunos foram capazes de amadurecer algumas características da Terceira Lei de Newton, a partir de interações sociais realizadas a partir de atividades em pequenos grupos e entre grupos.

O processo de aprendizagem para ser eficiente deve envolver funções que ainda estão em processo de desenvolvimento na estrutura cognitiva do sujeito educando (VYGOTSKY, 2001). Diante disso, o problema utilizado na Sequência Didática deve ser aprimorado, pois não foi capaz de destacar todas as características da Terceira Lei de Newton, principalmente aquelas que os estudantes mais apresentaram limitação no pré-teste. Outra limitação de nosso estudo envolve algumas questões utilizadas no pré-teste, que não apresentaram elementos suficientes para nossa análise. Sendo assim, o princípio de *design* que orienta esse estudo deve ser aprimorado para a realização de um novo ciclo de prototipagem. Em outras palavras, o princípio de *design* precisa ser aperfeiçoado com o propósito de gerar um novo ciclo de investigação sobre como possibilitar que os alunos alcancem explicações mais elaboradas sobre a Terceira Lei de Newton, com potencial de gerar um processo voltado para um avanço na significação conceitual a respeito desse tema por meio da argumentação.

O avanço do uso didático da argumentação no processo de ensino e aprendizagem também envolve a inserção de práticas argumentativas no contexto da formação inicial e continuada de professores. O que implica a construção de espaços voltados para que os futuros docentes desenvolvam conhecimento de cunho teórico e prático sobre a utilização da argumentação no contexto da sala de aula, como uma prática compatível com o gênero discursivo das Ciências, em consenso com uma das atribuições do ensino de Ciências no Brasil (BRASIL, 2020).

Por último, destacamos que os resultados apresentados envolvem o processo de desenvolvimento de uma primeira prototipagem de um estudo sobre a relação da aprendizagem de conceitos com o ensino de Ciências fundamentado pela argumentação. Diante disso, todas as considerações realizadas ao longo do artigo,

inclusive as suas limitações, são resultados importantes no aprimoramento da Sequência Didática, com potencial de suscitar novos estudos sobre essa interface, a partir da realização de um novo ciclo de prototipagem.

REFERÊNCIAS

ABI-EL-MONA, Issam; ABD-EL-KHALICK, Fouad. **Argumentative Discourse in a High School Chemistry Classroom**. *School Science and Mathematics*, v. 106, n. 8, p. 349-361, 2006.

ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. **Revisiting school scientific argumentation from the perspective of the history and philosophy of science**. In: MATTHEWS, Michael R. (Ed.) *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. Dordrecht: Springer, 2014. p. 1443–1472.

ARCHILA, Pablo Antonio. **Using History and Philosophy of Science to Promote Students' Argumentation: A Teaching–Learning Sequence Based on the Discovery of Oxygen**. *Science & Education*, v. 24, p. 1201–1226, 2015.

ARCHILA, Pablo Antonio; MOLINA, Jorge; MEJÍA, Anne-Marie Truscott de. **Using formative assessment to promote argumentation in a university bilingual science course**. *International Journal of Science Education*, 40, p. 1669–1695, 2018.

AYDENIZ, Mehmet; ÖZDILEK, Zehra. **Assessing Pre-Service Science Teachers' Understanding of Scientific Argumentation: What Do They Know About Argumentation After Four Years of College Science?** *Science Education International*, 26(2), p. 217-239, 2015.

BARBOSA, Roberto Gonçalves; BELLINI, Luzia Marta; SILVA, Alcina Maria Testa Braz da. **A teoria das representações sociais da física newtoniana: um estudo com professores do Ensino Médio**. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, Londrina, v. 33, n. 1, p. 3–16, 2012.

BARBOSA, Roberto Gonçalves; BATISTA, Irinéa de Lourdes. **Vygotsky: um referencial para analisar a aprendizagem e a criatividade no Ensino de Física**. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 18(1), p. 49-67. Abril, 2018.

BERLAND, Leema K.; REISER, Brian J. **Classroom Communities' Adaptations of the Practice of Scientific Argumentation**. *Science Education*, v. 95, n. 2, p. 191-216, 2010.

BILLIG, Michael. **Arguing and thinking: a rhetorical approach to social psychology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

BISPO, Wilson Fábio de Oliveira. **Desenvolvimento do conceito de luz por estudantes do ensino médio**. 350f. 2019. Tese. (Doutorado em Ensino Filosofia e História das Ciências), Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências), Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2019.

BOSS, Sergio Luiz Bragatto. **Considerações sobre a produção e o uso de material histórico em sala de aula**: dificuldades de leitura e entendimento de traduções de fontes primárias. In: Sergio Camargo. (Org.). *Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física*. 1 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

BOTTCHER, Florian; MEISERT, Anke. **Argumentation in Science Education: A Model-based Framework**. *Science & Education*, v. 20, n. 2, p. 103-140, 2011.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. Brasília: Ministério de Educação, 2000.

_____. **Base Nacional Curricular Comum**: Educação é a Base. Brasília: Ministério de Educação, 2020.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Formação de professores de ciências**: tendências e inovações. 10 ed. São Paulo: Cortez, 2011.

COHEN, Jerome Bernard. **O nascimento de uma nova Física**. Tradução: Maria Alice Gomesda Costa. Lisboa: Gradiva, 1988. 305p.

CROSS, Dionne; HICKEY, Daniel T.; TAASOBSHIRAZI, Gita; HENDRICKS, Sean;. **Argumentation**: A Strategy for Improving Achievement and Revealing Scientific Identities. *International Journal of Science Education*, Vol. 30, No. 6, 18 May, p. 837–861, 2008.

DAWSON, Vaille Maree; VENVILLE, Grady. **Teaching strategies for developing students' argumentation skills about socioscientific issues in high school genetics**. *Research in Science Education*, v. 40, n.2, p. 133-148, 2010.

DRIVER, Rosalind; ASOKO, Hilary; LEACH, John; MORTIMER, Eduardo Fleury; SCOTT, Phil. *Constructing Scientific Knowledge in the Classroom*. **Educational Researcher**, 23(7), 5-12, 1994.

DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul. **Establishing the norms of a scientific argumentation in classrooms**. Paper prepared for presentation at the ESERA Conference, 2 – 6 September, 1997, Rome.

DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul; OSBORNE, Jonathan. **Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms**. *Science Education*. 84(3), 287-312, 2000.

ERDURAN, Sibel; SIMON, Shirley; OSBORNE, Jonathan. **Taping into Argumentation**: Developments in the Application of Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. *Science Education*, 88(6), p. 915-933, 2004.

ERDURAN, Sibel; OZDEM, Yasemin.; PARK, Jee-Young. **Research trends on argumentation in science education: a journal content analysis from 1998-2014.** International Journal of STEM Education, v. 2, n. 5, p. 1-12, 2015.

FREIRE JR., Olival. **A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências.** In: SILVA Filho, Waldomiro J. (org.). Epistemologia e Ensino de Ciências. Salvador: Arcádia, 2002. p. 13-30.

GÓES, Maria Cecília Rafael; CRUZ, Maria Nazaré. **Sentido, significado e conceito: notas sobre as contribuições de Lev Vigotski.** Pro-Posições. v. 17, n.2 (50), p. 31-46, 2006.

HAMALOSMANOGLU, Mustafa; VARINLIOGLU, Serdar. **The Effects of Argumentation Activities on Seventh Grade Students' Environmental Attitudes and Their Knowledge Level.** Science Education International, v30, n3, p. 158-168, 2019.

IBRAIM, Stefannie de Sá; JUSTI, Rosária. **Teachers' knowledge in argumentation: contributions from a explicit teaching in an initial teacher education programe.** International Journal of Science Education, v. 38, p. 1926-2025, 2016.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar. **Diseño curricular: indagación y razonamento com el lenguaje de las ciências.** Enseñanza de las Ciencias, v.16, n.2, 1998.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; RODRÍGUEZ, Anxela Bugallo; DUSCHL, Richar A. **“Doing the Lesson” or “Doing Science”:** Argument in High School Genetics. Science Education, 84(6), p. 757-792, 2000.

KNIPPING, Christine; REID, David A. **Argumentation Analysis for Early Career Researchers.** Researchers in Mathematics Education, p. 3-31, 2019.

KUHN, Deanna. **Science As Argument: Implications For Teaching And Learning Scientific Thinking.** Science Education, 1993, v. 3, n. 77, 319-337.

_____. **Teaching and learning science as argument.** Science Education, 94, p. 810-824, 2010.

LEITÃO, Selma. **O lugar da argumentação na construção do conhecimento em sala de aula.** In: LEITÃO, Selma; DAMIANOVIC, Maria Cristina (Orgs.) Argumentação na Escola: o conhecimento em construção. Campinas, SP: Pontes Editores, 2011, cap. 1, p. 13-46.

LEMKE, Jay L. **Talking Science: language, learning and values.** Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 2000.

LICHTMAN, Marilyn. **Qualitative research in educacion: a user's guide.** Thousand Oaks: Sage, 2010.

LIMA, Cintia Maria Carneiro Franco; SILVA, JOSÉ LUIS de Paula Barros. **Contribuições do Desenvolvimento Histórico-Cultural dos Conceitos de Ácido**

e de Base para o Ensino de Química. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 20, p. 157-191, 2020.

LUCIE, Pierre. **A Cosmologia e a Física Aristotélica.** In: A Física Básica. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

NEWTON, Isaac. **The principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy.** Trad. COHEN, Jerome Bernard; WHITMAN, Anne Berkeley, University of California Press, 1999.

MACÊDO, Ricardo Silva de. **O Ensino de Ciências por Investigação e a Prática Pedagógica de Professores Licenciados no IF-UFBA.** 361f. Tese. (Doutorado em Ensino Filosofia e História das Ciências), Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências), Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2015.

MARTINS, Marina; JUSTI, Rosária da Silva; MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. **O papel da argumentação na mudança conceitual e suas relações com a epistemologia de Lakatos.** Educação Química, v. 27, p. 3-14, 2016.

MCNEILL, Katherine L.; GONZÁLEZ-HOWARD, María; KATSH-SINGER, Rebecca; LOPER, Suzanna. **Moving beyond pseudo argumentation: Teachers' enactments of an educative science curriculum focused on argumentation.** Science Education, 101(3), p. 426–457, 2017.

MENDONÇA, Paula Cristina; JUSTI, Rosária. **Ensino-Aprendizagem de Ciências e Argumentação: Discussões e Questões Atuais.** Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 13, n. 1, 2013.

_____. **An instrument for analysing arguments produced in modeling-based chemistry lessons.** Journal of Research in Science Teaching (Print), v. 51, p. 192-218, 2014.

MUNFORD, Danusa; TELES, Ana Paula Souto Silva. **Argumentação e a construção de oportunidades de aprendizagem em aulas de ciências.** Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências (ONLINE), v. 17, p. 161-185, 2015.

OSBORNE, Jonathan; ERDURAN, Sibel; SIMON, Shirley. **Enhancing the Quality of Argumentation in School Science.** Journal of Researc in Sciene Teaching, v. 41, n. 10, p. 994–1020, 2004.

PEDUZZI; Luiz Orlando de Quadro. **A Física Aristotélica. In: Força e movimento: de Thales a Galileu.** Coleção Evolução dos Conceitos da Física. Publicação interna. Florianópolis, SC: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015 (revisado em julho de 2019). 197 p, **cap. 2**, p. 39-50. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

PENHA, S. P. da. **Atividades Sociocientíficas em sala de aula de física: as argumentações dos estudantes.** Tese de Doutorado (Doutorado em Educação), USP, 2012.

_____. CARVALHO, A. M. P. **Proposição de uma Ferramenta Analítica para avaliar a Qualidade da Argumentação em Questões Sociocientíficas**. In: X ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2015, Águas de Lindóia. Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, 2015.

PERELMAN, Chaim; OLBRECHTSTYTECA, Lucia. **Tratado da argumentação: a nova retórica**. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

PINO, Angel L. B. **Processos de significação e constituição do sujeito**. Temas em Psicologia. v.1, n. 1, p. 17-24, 1993.

PLOMP, Tjeerd. **Educational design research: An introduction**. In: PLOMP, Tjeerd; NIEVEEN, Nienke. (Eds.). An introduction to educational design research. Enschede: SLO – Netherlands Institute for Curriculum Development, 2009. p. 9-35.

PORTO, Klayton Santana. **A argumentação e o entendimento de estudantes surdos e ouvintes sobre cinemática**. 267f. 2018. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2018.

REGO, Teresa Cristina. **Vygostky: Uma perspectiva histórico-cultural da educação**. Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes, 1995.

RUIZ ORTEGA, Francisco Javier; ALZATE, Oscar Eugenio Tamayo; BARGALLÓ, Conxita Márquez. **Los episodios argumentativos y las preguntas, como indicadores de procesos argumentativos en ciencias**. Revista EDUCyT, Extraordinario, p. 229-244, 2012.

_____. **La argumentación en clase de ciencias, un modelo para su enseñanza**. Educação e Pesquisa, 41(3), p. 629-646, 2015.

RUIZ ORTEGA, Francisco Javier; MÁRQUEZ, Conxita; BADILLO, Edelmira; RODAS RODRÍGUEZ, José Mauricio. **Desarrollo de la mirada profesional sobre la argumentación científica en el aula de secundaria**. Revista Complutense de Educación, 29(2), p. 559-576, 2017.

SANTOS, Josebel Maia dos. **O ensino da gravitação universal de Newton através da História da Ciência e da argumentação: desenvolvimento e análise de uma sequência didática**. 239f. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2017.

SAMPSON, Victor; CLARK. Douglas B. **Assessment of the Ways Students Generate Arguments in Science Education: Current Perspectives and Recommendations for Future Directions**. Science Education, p. 447 – 472, 2008

SCHWARZ, Baruch B.; NEUMAN, Yair; GIL, Julia; ILYA, Merav. **Construction of collective and individual knowledge in argumentative activity**. Journal of the Learning Sciences, 12(2), p. 219 – 256, 2003.

SILVA, Eider de Souza; TEIXEIRA, Elder Sales; PENIDO, Maria Cristina Martins. **Análise de propostas didáticas de física orientadas por abordagens históricas**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 35, n. 3, p. 766-804, dez. 2018.

SILVA, Eider de Souza; TEIXEIRA, Elder Sales. **O papel da terceira lei de Newton no desenvolvimento do conceito de interação mútua presente na teoria da gravitação universal**. 2021a. (Artigo referente ao primeiro capítulo desta tese, que ainda não foi submetido para publicação).

_____. **Análise de uma proposta de ensino voltada para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos no ensino de física**. 2021b. (Artigo referente ao segundo capítulo desta tese, que ainda não foi submetido para publicação).

SILVA, Fernando César. **Linguagem e o processo de ensino e aprendizagem em Química: leituras contemporâneas de Vigotski apoiadas por Tomasello**. REVISTA ELETRÔNICA DE EDUCAÇÃO (SÃO CARLOS), v. 14, p. 1-14, 2020.

TEIXEIRA, Elder Sales; NETO, Clímério. Paulo da Silva Neto; FREIRE JR., Olival; GRECA, Ileana Maria. **A construção de uma argumentação sobre a síntese newtoniana a partir de atividades em grupos**. Investigações em Ensino de Ciências (Online), v. 15, p. 61-95, 2010.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria.; FREIRE JR., Olival. **Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física**. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; HIDALGO, J. M. (Orgs.) Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino. Natal, Editora da UFRN, 2012b, cap. 1, p. 9-40.

TOULMIN, Stephen. **Os Usos do Argumento**. Trad. Reinaldo Guarany. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

VIEIRA, Rodrigo Drumond; NASCIMENTO, Silvania Souza do. **A argumentação no discurso de um professor e seus estudantes sobre um tópico de mecânica newtoniana**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 24, n. 2, p. 174-193, 2007.

_____. **A argumentação em sala de aula de física: Limites e Possibilidades de Aplicação do Padrão de Toulmin**. In: NASCIMENTO, Silvania Souza do; PLANTIN, Christian (Orgs.), C. Argumentação e Ensino de Ciências. Curitiba: CRV, 2009. p. 17-37.

VON AUFSCHNAITER, Claudia; ERDURAN, Sibel; OSBORNE, Jonathan; SIMON, Shirley. **Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge**. Journal of Research in Science Teaching, 45 (1), p. 101-131, 2008.

VYGOTSKY, Lev Semionovitch. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001. p. 486.

VYGOTSKY, Lev Semionovitch. **Pensamento e Linguagem**. Tradução de Jefferson L. Camargo. São Paulo: Martins Fontes, 1987.

WENZEL, Judite Scherer. **A apropriação da linguagem científica escolar e as interações discursivas estabelecidas em sala de aula como modo de aprender ciências**. Revista Transmutare, v. 2, p. 18-33, 2017.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

ZEMPLÉN, Gabor A. **History of science and argumentation in science education: joining forces?** In: KOKKOTAS, P. V.; MALAMITSA, K. S. e RIKAKI, A. A. (Eds.). Adapting historical knowledge production to the classroom. Rotterdam: Sense Publishers, 2011, p. 129-140.

ZOHAR, Anat; NEMET, Flora. **Fostering Student's Knowledge and Argumentation Skills Through Dilemmas in Human Genetics**. Journal of Research in Science Teaching, 39(1), p. 35-62, 2002.

**CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO COLETIVA DE UM ARGUMENTO
SOBRE A GRAVITAÇÃO UNIVERSAL DE NEWTON**

ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO COLETIVA DE UM ARGUMENTO SOBRE A GRAVITAÇÃO UNIVERSAL DE NEWTON

Resumo: Este artigo investiga o processo argumentativo – ações docentes, interações discursivas em sala de aula e qualidade do argumento – que culminou na construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton, por alunos da Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana, durante uma atividade em grupo, mediada pelo professor. Essa atividade faz parte de uma proposta de ensino caracterizada pelo ensino explícito da argumentação. O padrão de argumento de Toulmin (2006) foi adotado como modelo para construção de argumentos e como referencial teórico de análise. Os dados foram coletados mediante gravação, em vídeo, das interações entre os grupos mediadas pelo professor e a partir do registro dos argumentos escritos produzidos de maneira coletiva pelos alunos. A partir da análise dos dados, pudemos identificar que a abordagem comunicativa adotada pelo professor ao longo do processo argumentativo, que culminou na construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton, foi, em sua maioria, do tipo *interativo/dialógico*. Para mais, o processo de discussão entre os grupos com mediação do professor possibilitou a ressignificação dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos. Como resultado, foi desenvolvido um argumento a partir da mobilização de conhecimento científico específico.

Palavras-chave: Argumentação; Interação discursiva; Gravitação Universal.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, diante da importância atribuída à argumentação no processo de ensino e aprendizagem, inúmeros estudos têm investigado o processo argumentativo e a construção de argumentos no ensino de ciências no Brasil e no mundo (ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004; HAMALOSMANOGLU; VARINLIOGLU, 2019; MCNEILL et al., 2017; SANTOS, 2017; SILVA; TEIXEIRA, 2021b¹; TEIXEIRA et al., 2010b; TEIXEIRA; GRECA; FREIRE-JÚNIOR, 2012; 2015). No Brasil, diferentes pesquisadores estão envolvidos na investigação das implicações de cunho teórico, metodológico e didático a respeito do ensino de ciências fundamentado pela argumentação (IBRAIM; JUSTI, 2018; SASSERON, 2015; TEIXEIRA et al., 2010b; VIEIRA; NASCIMENTO, 2009b).

Nesse cenário, é consenso entre os pesquisadores da área que o professor exerce um papel fundamental na consolidação de práticas argumentativas em sala

¹ A referência trata do artigo que corresponde ao capítulo 2 (dois) da tese, que ainda não foi submetido para publicação.

de aula (IBRAIM; JUSTI, 2016, 2018; MORTIMER; SCOTT, 2002; VIEIRA; NASCIMENTO, 2009a; ZEMPLÉN, 2011). Deste modo, ao direcionar o modo pelo qual a interação discursiva ocorre no ambiente de ensino e aprendizagem, o professor promove um processo de mediação, possibilitando que o sujeito educando consiga realizar com sua ajuda, ou de seus colegas mais experientes, o que não é capaz de realizar sozinho (OLIVEIRA, 2010; VYGOTSKY, 2001). Assim, em consonância com Sasseron (2020), reconhecemos que a análise do processo argumentativo permite que sejam avaliadas as interações estabelecidas entre professor e alunos com as atividades de ensino, os materiais instrucionais e o conhecimento científico abordado no contexto da sala de aula.

Partindo dos pressupostos acima, o objetivo deste artigo é investigar o processo argumentativo – ações docentes, interações discursivas em sala de aula e qualidade do argumento – que culminou na construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton, por alunos da Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana, durante uma atividade em grupo com mediação do professor.

Durante a Conferência Anual da Organização Mundial para Melhorar o Ensino e a Aprendizagem de Ciências por meio da Pesquisa (NARST), realizada em 2015, um grupo de estudiosos se reuniu para discutir os desafios e as direções para o futuro da pesquisa sobre a interface que envolve o ensino de ciências por argumentação. Como resultado, definiu-se que a promoção da argumentação no contexto da sala de aula passa pelo estabelecimento de normas e de matérias curriculares voltadas para o professor (HENDERSON et al., 2018). Portanto, esse artigo se justifica na medida que pode contribuir no desenvolvimento de conhecimentos sobre como o professor pode promover uma interação discursiva com o propósito de orientar os alunos em um processo argumentativo direcionado para a construção de argumentos sobre ciências. Por consequência, suscitar questionamentos e encadeamentos acerca do papel da argumentação no processo de ensino e aprendizagem no ensino de ciências, em especial no Ensino de Física.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ARGUMENTAÇÃO E O PAPEL DO PROFESSOR

A argumentação, enquanto uma prática compatível com o gênero discursivo das ciências, vem se destacando nas pesquisas em educação científica como uma estratégia importante para o desenvolvimento de habilidades comunicativas e da aprendizagem conceitual (ERDURAN, 2007; MCNEILL et al., 2017; SAMPSON; CLARK, 2008). Nessa perspectiva, é importante compreender como as interações discursivas realizadas no contexto da sala de aula de ciências, tendem a contribuir para a criação e a manutenção de ambientes favoráveis para a construção de argumentos (FERRAZ; SASSERON, 2017; SASSERON, 2020). Isso ocorre na medida em que essas interações têm o potencial de criar oportunidades de aprendizagem no ensino de ciências (KUHN, 1993; SILVA; TEIXEIRA, 2021b).

As relações que se estabelecem no ensino de ciências fundamentado pela argumentação estão diretamente relacionadas ao papel exercido pelo professor (IBRAIM, 2018; MIKESKA; HOWELL, 2020). O professor exerce uma posição central no uso didático da argumentação, considerando-se que deve ser capaz de planejar e conduzir as situações argumentativas no ambiente educacional (IBRAIM; JUSTI, 2016, 2018; MENDONÇA; JUSTI, 2013). No decorrer das aulas, deve ser capaz de suscitar e coordenar as interações em sala de aula, para que os alunos se posicionem ao longo da discussão e se envolvam em processos argumentativos voltados para a construção de argumentos (IBRAIM; JUSTI, 2018, 2020; MORTIMER; SCOTT, 2002; SANTOS, 2017; VIEIRA; NASCIMENTO, 2009). Dessa maneira, integrar a argumentação nas salas de aula de ciências demanda mudanças importantes na forma como professores e alunos interagem entre si (MURPHY et al., 2018).

O planejamento das atividades deve ser capaz de criar oportunidades para que os alunos possam se posicionar e expressar suas ideias a respeito do assunto em discussão (HENDERSON et al., 2018; MENDONÇA; JUSTI, 2013). Uma estratégia é a adoção de perguntas com potencial de assegurar a continuidade do processo argumentativo (MANZ; RENGA, 2017). As perguntas do professor direcionadas aos alunos são importantes para explicitar um problema que suscita que conhecimentos científicos sejam mobilizados para solucioná-lo, suscitar discussões e oportunidades da participação de diferentes alunos durante o processo argumentativo voltado para a construção de um argumento dirigido para a solução deste problema (FERRAZ; SASSERON, 2017; MORTIMER; SCOTT, 2002).

Atividades em grupo podem favorecer a ocorrência de processos de interações pelas quais os estudantes são estimulados a partilhar conhecimentos e se envolverem na construção coletiva de argumentos (SANTOS, 2017; SILVA; TEIXEIRA, 2021b; TEIXEIRA et al., 2010b;). Além disso, valoriza como o conhecimento científico é socialmente construído a partir de processos que envolvem negociações e conflitos (IBRAIM; JUSTI, 2018; ZEMPLÉN, 2011). Em concordância com a perspectiva histórico-cultural, reconhecemos que é por intermédio dos processos de negociações e disputas, a partir da interação social, que os sujeitos constroem conhecimento (OLIVEIRA, 2010; VYGOTSKY, 2001). Portanto, no ensino de ciências fundamentado pela argumentação, o professor deve atuar como um mediador do processo de ensino e aprendizagem, não como mero transmissor de conhecimento. Por consequência, por intermédio das intervenções deste, os estudantes podem tomar decisões conscientes durante a construção de argumentos.

2.2 ARGUMENTAÇÃO E O ENSINO DE CIÊNCIAS

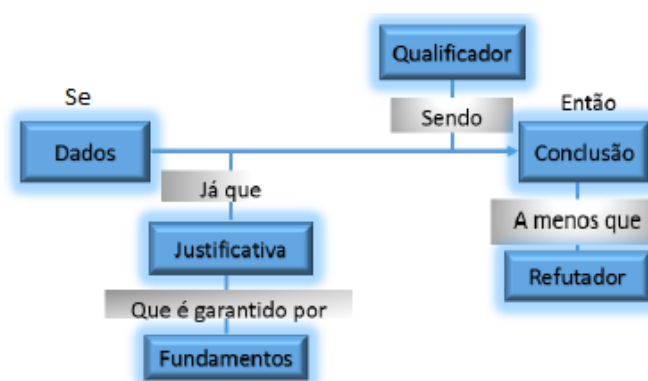
Em concordância com os pressupostos teóricos adotados em nosso artigo, um argumento é definido como o produto da articulação funcional entre dados, justificativas, fundamentos, qualificador e refutador para apoiar uma conclusão acerca de um problema específico (ABI-EL-MONA; ABD-EL-KHALICK, 2006; SAMPSON; CLARK, 2008). Argumentação é o processo de discussão pelo qual os estudantes, de maneira individual ou coletiva, buscam relacionar dados, justificativas, fundamentos, qualificador e refutador para apoiar a conclusão de um argumento. Contra-argumentos são pontos de vistas diferentes sobre um mesmo argumento que busca resolver a questão de um problema. Assim, um contra-argumento é definido pela sua capacidade de contestar, isto é, de se opor à conclusão do argumento. Uma refutação se opõe à justificativa apresentada para estabelecer a relação entre o dado e à conclusão do argumento. Em outros termos, refutar um argumento de alguém é refutar à justificativa apresentada por ele e contra-argumentar é apresentar uma outra conclusão que se opõe à conclusão desse alguém. Um episódio argumentativo é um evento, definido em um intervalo de tempo, em que ocorreu a construção individual ou coletiva de um argumento, que,

no mínimo, envolve uma conclusão, que pretende responder a um problema, apoiada em dado e justificativa.

A argumentação se relaciona ao caráter dialógico, que envolve uma interação discursiva ao qual os sujeitos envolvidos apresentam suas ideias em disputa com considerações diferentes, isto é, existe mais de um ponto de vista (MORTIMER; SCOTT, 2002). Por consequência, são capazes de sustentar suas ideias, elaborar contra-argumentos e avaliar novas teses, que podem produzir novas perspectivas para suas ideias (PENHA, 2012). No ensino de ciências, a interação discursiva que caracteriza uma controvérsia, fundamental para a ocorrência da argumentação e de contra-argumentos (LEITÃO, 2011), pode surgir na medida em que mais de um ponto de vista existe em relação ao argumento que visa resolver um problema a respeito do tema estudado em sala de aula.

O modelo de Toulmin (2006) será adotado como modelo para a construção de argumentos (Figura 1). A razão para tal escolha parte do pressuposto de que a forma pela qual os elementos desse modelo se relacionam é semelhante a maneira pela qual os cientistas argumentam durante o desenvolvimento de teorias e explicações sobre o mundo da natureza (ADÚRIZ-BRAVO, 2014; ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004). Portanto, consideramos o modelo de Toulmin adequado ao gênero discursivo das ciências, ou seja, que valoriza o uso de dados e justificativas, apoiadas em fundamentos científicos, para construir argumentos sobre ciências.

Figura 1 - Modelo de argumento de Toulmin (2006).



Fonte: Adaptada de Santos (2017, p. 53).

3. METODOLOGIA

No que se refere à metodologia utilizada neste artigo, com vistas a alcançar os objetivos propostos, adotamos uma abordagem qualitativa (LICHTMAN, 2010). Como orientação metodológica, utilizamos algumas características da *Design Research* (PLOMP, 2009). Por intermédio dessa, a partir da análise das interações discursivas e dos argumentos construídos pelos alunos, almejamos analisar o processo argumentativo que culminou na construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton, por alunos da Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana, durante uma atividade entre grupos mediada pelo professor. Por intermédio das ações do professor, devem ser estabelecidas interações sociais a partir de um processo dialógico, para que os estudantes tenham a oportunidade de expor suas ideias e, conseqüentemente, se engajarem em um processo argumentativo voltado para a construção de argumentos (BAKER, 2009; IBRAIM; JUSTI, 2017; SILVA; TEIXEIRA, 2021b, 2021c).

O objeto de análise deste artigo, faz parte de um estudo maior que desenvolveu, aplicou e analisou uma proposta de ensino, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação (SILVA; TEIXEIRA, 2021b). Essa proposta de ensino foi aplicada em uma disciplina obrigatória do 7º semestre, do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública do interior da Bahia². Diante disso, nosso estudo apresenta o seguinte princípio de *design*: Ensino explícito da argumentação propicia melhor habilidade de construir argumentos sobre conceitos científicos na formação inicial de professores de Física.

3.1 CONTEXTO DE ENSINO E COLETA DE DADOS

A atividade voltada para a construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton ocorreu na décima quinta semana de aula de aplicação da proposta de ensino³. Ao todo, 14 (catorze) alunos participaram dessa

² De acordo com a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, o projeto de pesquisa que fundamenta este estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP), sobre o parecer de número 3.563.945. A anuência para participação dos estudantes na pesquisa foi concebida através de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

³ Toda semana ocorriam 4 (quatro) aulas de 50 minutos.

atividade. Uma semana antes da realização da atividade, os alunos receberam o texto didático de natureza histórica (SILVA; TEIXEIRA, 2021a)⁴. Eles foram orientados a ler o texto com antecedência. O referido texto, que foi elaborado pelos autores deste trabalho, apresenta uma reconstrução histórica dos argumentos originais utilizados por Newton no desenvolvimento do conceito de interação mútua presente na Gravitação Universal. Para além de identificar e analisar os argumentos newtonianos para fundamentar o conceito de interação mútua presente na Gravitação Universal, encontramos suporte nos trabalhos desenvolvidos por Richard S. Westfall (1924-1996) e I. Bernard Cohen (1914-2003), além de outras referências historiográficas, para compreender esses argumentos e elaborar o texto.

No início da aula, Momento I⁵, o professor fez uma apresentação sobre o tema. Em seguida, os alunos se organizavam em pequenos grupos para discutir e, posteriormente, construir um argumento coletivo para resolver o problema. Na sequência (Momento II), cada grupo escreveu seu argumento no quadro, para ser analisado entre os grupos. Nesse momento, ocorreu a discussão entre os grupos, mediada pelo professor, onde os estudantes foram instruídos a construir um novo argumento coletivo, entre os grupos, a partir do confronto e da ressignificação dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos. Ao final da aula, o professor forneceu um *feedback* para resolver conflitos e sistematizar o resultado da discussão.

Os argumentos escritos desenvolvidos pelos estudantes e a gravação em vídeo das interações entre os grupos com mediação do professor, formam a base de dados deste estudo. As figuras abaixo, apresentam a organização espacial da sala durante a coleta de dados. Essas representações ilustram o posicionamento das câmeras durante as discussões em pequenos grupos e entre os grupos, Figuras 2 e 3, respectivamente.

⁴ A referência trata do artigo que corresponde a seção 3 do capítulo 1 (um) da tese, que ainda não foi submetido para publicação.

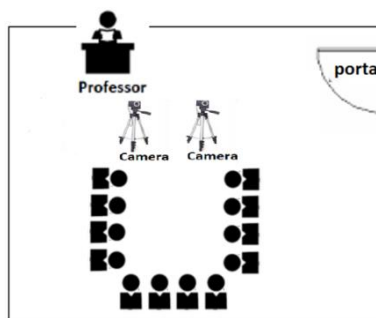
⁵ Cada momento teve uma duração de 100 (cem) minutos, ou seja, duas aulas.

Figura 2 - Esquema das posições das câmeras para filmar a discussão nos pequenos grupos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 - Esquema das posições das câmeras para filmar a discussão entre os grupos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a análise dos dados, foi realizada a transcrição dos vídeos da discussão entre os grupos. As transcrições foram os principais dados utilizados para analisar o processo interativo que culminou na construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton. A fim de tentar garantir a validade e a fidedignidade da análise dos dados, esses foram analisados de maneira independente pelos autores deste artigo e, posteriormente, em conjunto, para resolver divergências nas interpretações. Um dos autores do artigo exerce as funções de professor e pesquisador.

No primeiro momento, os argumentos elaborados pelos alunos na atividade em pequenos grupos foram organizados de acordo com o modelo de Toulmin. Na sequência, analisamos a qualidade destes argumentos a partir dos critérios *Coerência Formal*, *Validade*, *Legitimidade*, *Pertencimento*, *Suficiência* e *Respaldo* (Quadro 1). No segundo momento, de posse das transcrições dos vídeos da

discussão entre os grupos, identificamos os episódios argumentativos. O critério para identificar o episódio foi a identificação, nos turnos de fala, de uma conclusão, que visa responder ao problema proposto, seguida da identificação do dado apresentado para se chegar a essa conclusão e da justificativa apresentada para sustentá-la. Posteriormente, utilizamos a ferramenta de Mortimer e Scott (2002) para analisar como o professor e os alunos interagem durante a construção do argumento coletivo entre os grupos. Por fim, realizamos a análise da qualidade do argumento elaborado de maneira coletiva, a partir dos critérios citados acima.

A análise dos resultados foi destinada para responder às seguintes questões de pesquisa: (1) Como professores e alunos interagem durante a construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton?; (2) Qual a qualidade do argumento coletivo entre grupos desenvolvido pelos alunos sobre o referido tema? e (3) Quais ações do professor contribuíram para a construção desse argumento? Deste modo, propomos a realização de um estudo que tem a possibilidade de explorar a relação entre o padrão de interação discursiva durante uma atividade em grupo e a característica do argumento que é produzido a partir desta.

Os estudantes foram identificados dentro das discussões a partir da letra do grupo (A, B ou C) ao qual pertence e da ordem alfabética do nome destes dentro de seu grupo específico.

3.2 CRITÉRIOS DE ANÁLISE

3.2.1 INTERAÇÕES DISCURSIVAS NA CONSTRUÇÃO COLETIVA DE ARGUMENTOS

A ferramenta de Mortimer e Scott (2002) tem por objetivo identificar as interações discursivas durante a produção de significados nas salas de aulas de ciências. A estrutura analítica de Mortimer e Scott (2002) é composta por cinco aspectos que se relacionam (Figura 4). Em concordância com os objetivos deste artigo, adotaremos apenas quatro aspectos dessa ferramenta⁶, a saber: (1)

⁶ O conteúdo não é um aspecto de análise relevante para esse artigo, já que o objetivo de investigar o processo argumentativo voltado para a construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton não foca no conteúdo do argumento, mas nas ações do professor, nas interações em sala de aula e na qualidade do argumento.

Intenções do professor: análise das intenções das ações do professor; (2) Abordagem comunicativa: análise da natureza das intervenções do discurso entre professor e aluno, ou entre alunos, durante as intervenções pedagógicas. As abordagens comunicativas são formadas por quatro classes, que são caracterizadas em duas dimensões de discurso: *dialógico*⁷ ou *de autoridade*⁸; e *interativo*⁹ ou *não-interativo*¹⁰; (3) Padrões de interação: análise dos tipos de interações entre alunos e o professor; e (4) Intervenções do professor: análise das formas de intervenções pedagógicas adotadas pelo professor durante essas interações. A partir das quatro categorias adotadas buscamos identificar e analisar o que o professor planeja com a atividade, a forma discursiva pela qual este desenvolve o tema da aula e as intervenções que realiza ao longo do processo argumentativo, que tem como objetivo a construção de um argumento entre os grupos a partir da discussão dos argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos.

Figura 4 - Estrutura para analisar a maneira como professores e alunos interagem na construção de significados em aulas de ciências.

Aspectos da Análise	
i. Focos do ensino	<i>1. Intenções do professor</i> <i>2. Conteúdo</i>
ii. Abordagem	<i>3. Abordagem comunicativa</i>
iii. Ações	<i>4. Padrões de interação</i> <i>5. Intervenções do professor</i>

Fonte: Mortimer e Scott (2002, p.285).

3.2.2 QUALIDADE DO ARGUMENTO

Um argumento de boa qualidade possui elementos que exercem suas funções e que se relacionam dentro do modelo de Toulmin (2006). Para mais, esse argumento é construído dentro de um contexto teórico e apoiado por conhecimento científico específico. Portanto, os critérios descritos abaixo estão voltados para a

⁷ “O que torna o discurso funcionalmente dialógico é o fato de que ele expressa mais de um ponto de vista – mais de uma ‘voz’ é ouvida e considerada – e não que ele seja produzido por um grupo de pessoas ou por um indivíduo solitário”. (MORTIMER; SCOTT, 2002, p. 287).

⁸ Apenas uma pessoa é ouvida e “não há inter-animação de ideias” (MORTIMER; SCOTT, 2002, p. 287).

⁹ Ocorre com a participação de mais de uma pessoa (MORTIMER; SCOTT, 2002).

¹⁰ Ocorre com a participação de uma única pessoa (MORTIMER; SCOTT, 2002).

identificação e verificação do papel dos elementos constitutivos de um argumento, a relação entre eles, o conteúdo e o contexto teórico em que são desenvolvidos (Quadro 1).

Quadro 1 - Rubrica para avaliar a qualidade do argumento (Adaptado de Penha, 2012, p. 124/125).

Rubrica para avaliação da Qualidade do Argumento		
Critério	Pontuação	Descrição
Coerência Formal (C) Analisa se os componentes que formam o argumento desempenham suas funções de acordo com o modelo de Toulmin:	0	Nenhum componente desempenha adequadamente sua função estrutural
	1	Alguns componentes desempenham sua função estrutural
	2	Todos os componentes desempenham suas funções estruturais
Validade (V) Analisa se a conclusão do argumento responde à questão do problema proposto:	0	A conclusão responde de maneira incorreta à questão do problema
	1	A conclusão responde de maneira parcialmente correta à questão do problema
	2	A conclusão responde totalmente à questão do problema
Legitimidade (L) Identifica se a justificativa do argumento está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve:	0	Justificativas não são aceitáveis dentro do contexto teórico
	1	Justificativas são parcialmente aceitáveis dentro do contexto teórico
	2	Justificativas são totalmente aceitáveis dentro do contexto teórico
Pertencimento (P) Identifica se o fundamento que dá suporte a justificativa pertence ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve:	0	Fundamentos não são aceitáveis dentro do contexto teórico
	1	Fundamentos são parcialmente aceitáveis dentro do contexto teórico
	2	Fundamentos são totalmente aceitáveis dentro do contexto teórico
Suficiência (S) Analisa se a justificativa é suficiente para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão:	0	As justificativas não são suficientes
	1	As justificativas são parcialmente suficientes
	2	As justificativas são totalmente suficientes
Respaldo (R) Analisa se o fundamento é	0	Os fundamentos não são

satisfatório para dar respaldo a justificativa:		satisfatórios.
	1	Os fundamentos são parcialmente satisfatórios
	2	Os fundamentos são totalmente satisfatórios

Fonte: Adaptado de Penha (2012).

Com o critério Coerência Formal é possível analisar se os componentes que formam o argumento desempenham suas funções. Assim, um argumento descrito dentro do modelo de Toulmin (2006), em que cada elemento cumpre seu papel dentro da estrutura, deve ser definido como um argumento coerente. Esse critério possui três graus de pontuação, são eles: 0 (zero), quando nenhum componente do argumento desempenha adequadamente sua função estrutural; 1 (um), quando alguns componentes do argumento desempenham sua função estrutural; e 2 (dois), quando todos os componentes do argumento desempenham sua função estrutural.

O critério Validade analisa se a conclusão do argumento responde à questão proposta pelo problema. No desenvolvimento de argumentos numa área específica das ciências, o conteúdo da conclusão é relevante, tendo em vista que o objetivo do argumento é responder uma questão que resolve um problema sobre um fenômeno natural. Conforme Mendonça e Justi (2014), a análise do tipo de justificativa deve levar em consideração o conteúdo da conclusão, tal como o contexto em que foi expressa. Os graus de pontuação deste critério são, quais sejam: 0 (zero), quando a conclusão responde de maneira incorreta à questão do problema; 1 (um), quando a conclusão responde à questão de maneira parcialmente correta; e 2 (dois), quando a conclusão responde à questão de maneira correta.

Um argumento possui Legitimidade quando a justificativa que compõe o argumento está dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve. Esse critério possui três graus de pontuação, a saber: 0 (zero), quando as justificativas não estão dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 1 (um), quando algumas justificativas estão dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 2 (dois), quando todas as justificativas estão dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve.

Um argumento possui Pertencimento quando o fundamento pertence ao contexto teórico no qual o argumento se desenvolve. Esse critério possui três graus de pontuação, trata-se: 0 (zero), quando os fundamentos não estão dentro do

contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 1 (um), quando alguns fundamentos estão dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve; 2 (dois), quando todos os fundamentos estão dentro do contexto teórico no qual o argumento se desenvolve.

Em certos casos, são necessárias mais de uma justificativa para estabelecer a relação entre dados e a conclusão de alguns argumentos. Logo, quando um argumento não apresenta todas as justificativas corretamente, isso não será suficiente para estabelecer a conclusão de modo satisfatório. Assim sendo, o critério Suficiência analisa se as justificativas do argumento são suficientes para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão. Em um contexto teórico específico de conhecimento científico, esse critério visa avaliar se o argumento apresenta todas as justificativas que são bastante para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão. Esse critério possui três graus de pontuação, são eles: 0 (zero), quando o argumento não apresenta nenhuma justificativa suficiente para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão; 1 (um), quando o argumento apresenta algumas das justificativas suficientes para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão; 2 (dois), quando o argumento apresenta todas as justificativas suficientes para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão.

O critério Respaldo analisa se os fundamentos dos argumentos são satisfatórios para dar respaldo à justificativa do argumento. Em outros termos, analisa se o aluno apresenta todos os fundamentos que apoiam um argumento dentro de um contexto teórico específico, que em nosso artigo envolve a Gravitação Universal de Newton. Esse critério também possui três graus de pontuação, quais sejam: 0 (zero), quando o argumento não apresenta nenhum fundamento satisfatório para dar respaldo à justificativa; 1 (um), quando o argumento apresenta alguns dos fundamentos satisfatórios para darem respaldo à justificativa; 2 (dois), quando o argumento apresenta todos os fundamentos satisfatórios para dar respaldo à justificativa.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para facilitar a identificação dos elementos do argumento, construímos uma associação, a partir do ponto de vista dos pesquisadores, entre os elementos que formam o argumento e as cores adotadas para cada um deles (Quadro 2).

Quadro 2 - Associação dos elementos do modelo de Toulmin (2006) e as suas respectivas cores.

Elemento	Cor
Dado	Amarelo
Justificativa	Verde
Conclusão	Azul
Fundamentos	Rosa
Qualificador	Cinza
Refutador	Vermelho

Fonte: Adaptado de Santos (2017, p. 54)

Por razão de parcimônia, alguns turnos de fala que não são relevantes à análise serão suprimidos¹¹.

¹¹ No Apêndice H os turnos de fala podem ser lidos na íntegra.

Quadro 3 - Mapa dos momentos I e II, aula sobre a Gravitação Universal.

Duração	Atividades desenvolvidas	Ações do professor e/ou do aluno	Comentários
<p>Início da aula: 14:00h</p> <p>Momento inicial da aula com duração de cerca de 15min.</p>	<p>Início da aula: Apresentação da temática da aula e esclarecimento sobre as atividades que serão desenvolvidas em sala.</p>	<p>O professor solicita que os alunos, tomando como base o texto previamente lido, realizem uma discussão para elaborar um argumento coletivo sobre a GU. Os alunos se organizam em pequenos grupos.</p>	<p>Os alunos se organizam em três grupos: Grupo A - 5 (cinco) alunos; Grupo B – 4 (quatro) alunos; e Grupo C – 5 (cinco) alunos.</p>
<p>Momento I da aula com duração de cerca de 50min.</p>	<p>Discussão em pequenos grupos; Construção coletiva de um argumento.</p>	<p>Os alunos discutem em pequenos grupos e constroem um argumento coletivo que responde um problema sobre a GU (Figura 5).</p>	<p>A gravação do áudio começa a partir deste momento.</p>
<p>00:00:01</p> <p>Momento II</p> <p>00:53:16</p>	<p>Discussão e elaboração de um argumento coletivo entre os grupos com mediação do professor.</p>	<p>O professor solicitou que os alunos analisassem os argumentos elaborados nos pequenos grupos e construíssem um argumento final, para representar a turma; O professor realiza um <i>feedback</i>, voltado para resolver conflitos, sistematizar o resultado da discussão e contribuir para que todos os estudantes fossem capazes de compreender o conteúdo e a estrutura do argumento.</p>	<p>A gravação é retomada.</p>

Fonte: Adaptado de Teixeira (2010b, p. 68)

Figura 5 - Problema sobre a Gravitação Universal.

Um planeta é percebido em órbita ao redor do Sol. Sabendo que essa órbita é mantida estável, isto é, o planeta não desvia de sua trajetória curvilínea, elabore um argumento explicando as causas da manutenção dessa órbita, levando em consideração seus conhecimentos a respeito da terceira lei e da Gravitação universal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 QUALIDADE DOS ARGUMENTOS DESENVOLVIDOS NOS PEQUENOS GRUPOS

Organizados em pequenos grupos, os alunos discutiram e, posteriormente, construíram argumentos coletivos (Figura 6), para resolver o problema (Figura 5).

Figura 6 - Argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos para resolver um problema sobre a Gravitação Universal de Newton.

Grupo A

Se um planeta primário é percebido em órbita ao redor do Sol, então, com certeza, ele não desvia da sua trajetória curvilínea, já que a interação entre eles é mútua e a gravidade é constante, que é fundamentada pela composição simples do livro três.

Grupo B

Se um planeta é percebido em órbita ao redor do Sol, então, com certeza ele não é desviado de sua trajetória, já que a ação da força centrípeta é proporcional à massa do planeta e inversamente proporcional ao quadrado da distância, que é garantido pela proposição 7.

Grupo C

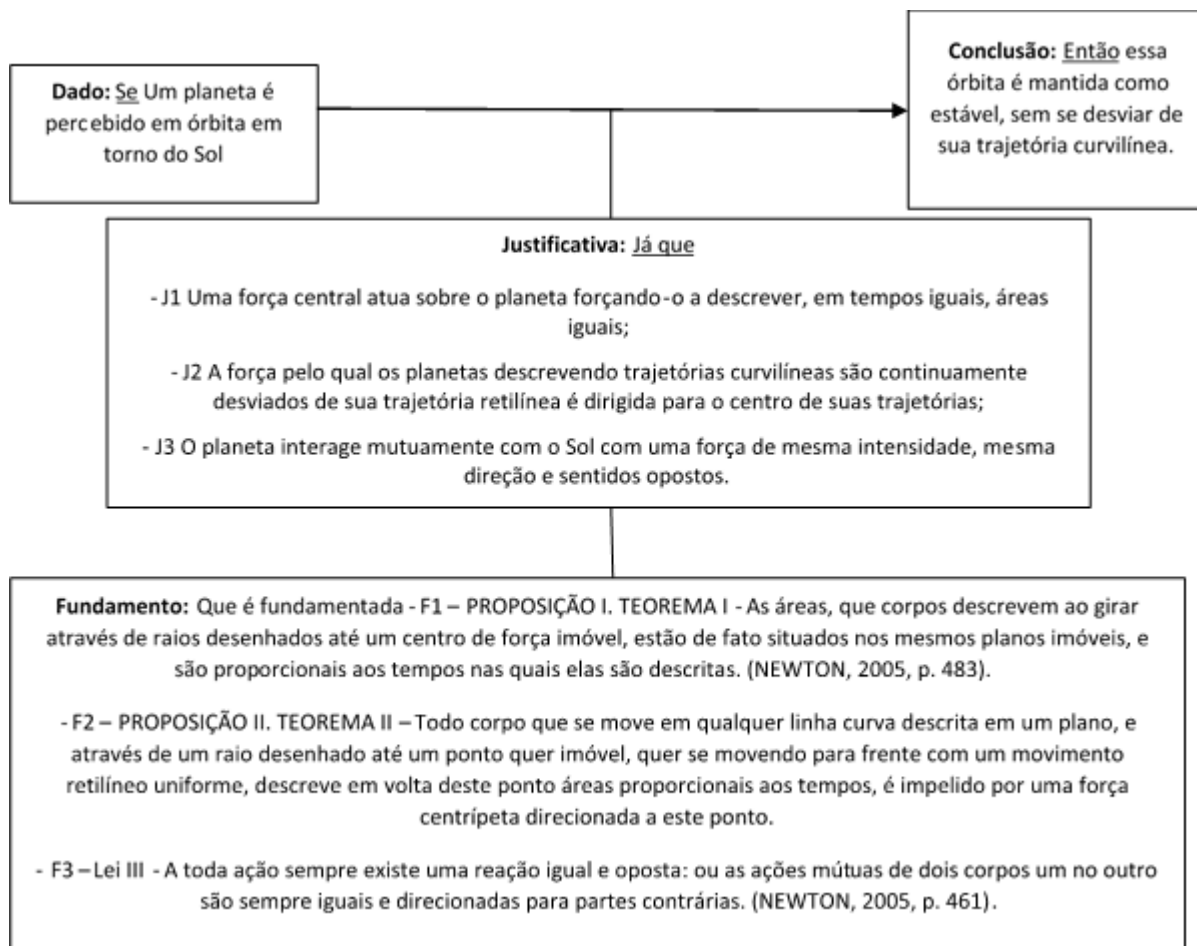
Se um planeta é percebido em órbita ao redor do Sol, então, com certeza o mesmo não terá sua trajetória curvilínea alterada, já que as forças existentes na interação entre esses dois corpos é simultânea, sendo as mesmas proporcionais à massa de cada corpo, os quais decaem com o quadrado da distância entre os centros dos corpos, que é garantido pela Terceira Lei de Newton e pela gravitação universal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para ajudar, a partir da comparação, na avaliação dos argumentos coletivos desenvolvidos nos pequenos grupos e entre os grupos, elaboramos uma representação do argumento que responde ao problema proposto (Figura 7). Esse argumento foi construído pelos pesquisadores, autores deste trabalho, a partir do texto de Silva e Teixeira (2021a), desenvolvido para ser utilizado na proposta de ensino ao qual essa atividade faz parte. Em conformidade com Teixeira *et al.* (2010b), destacamos que essa é uma representação interpretativa, que não deve

ser tratada como única ou exata, mas apenas como um “instrumento para auxiliar os autores no processo de análise” (TEIXEIRA et al., 2010b, p. 69).

Figura 7 - Argumento desenvolvido pelos pesquisadores para auxiliar, através da comparação, a análise do argumento sobre a Gravitação Universal.

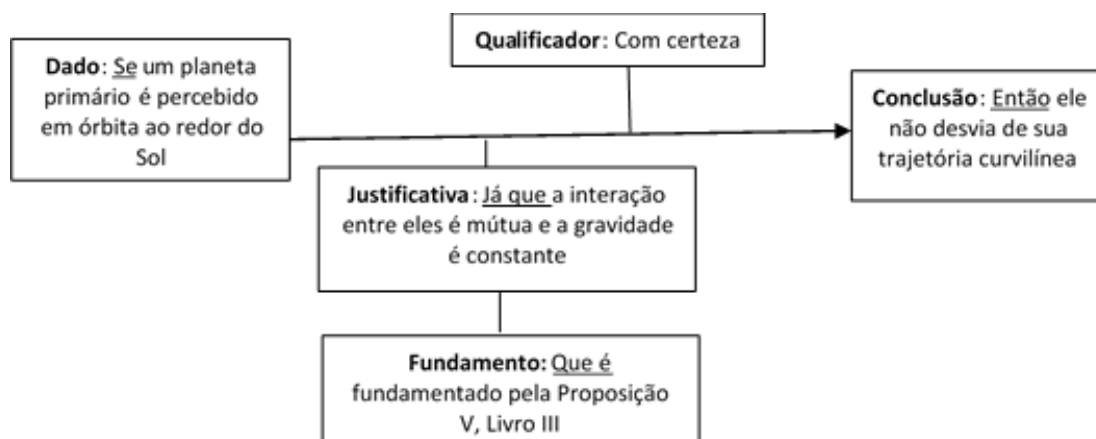


Fonte: Autoria própria.

4.1.1 QUALIDADE DOS ARGUMENTOS DOS PEQUENOS GRUPOS

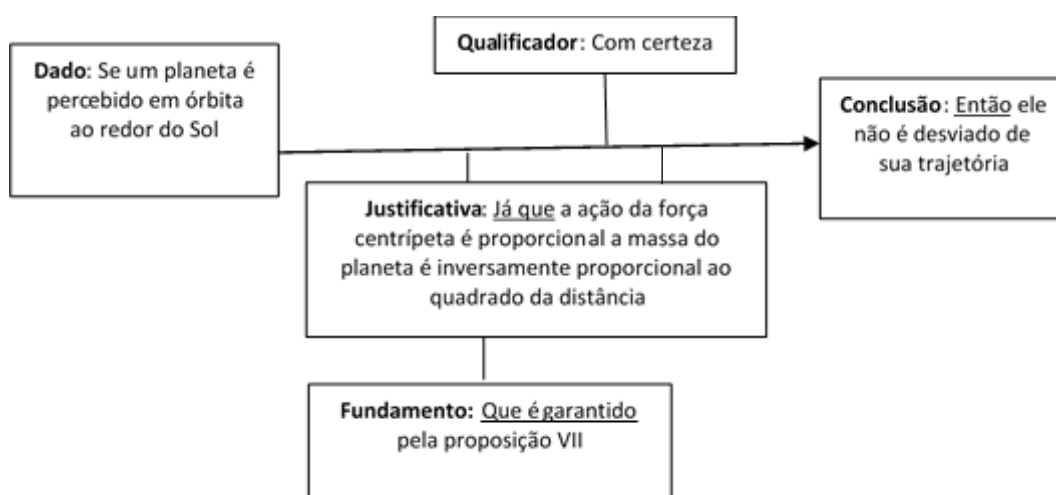
A discussão nos pequenos grupos produziu argumentos coletivos, que podem ser representados de acordo com o modelo de Toulmin (2006) da seguinte forma:

Figura 8 - Argumento do grupo A.



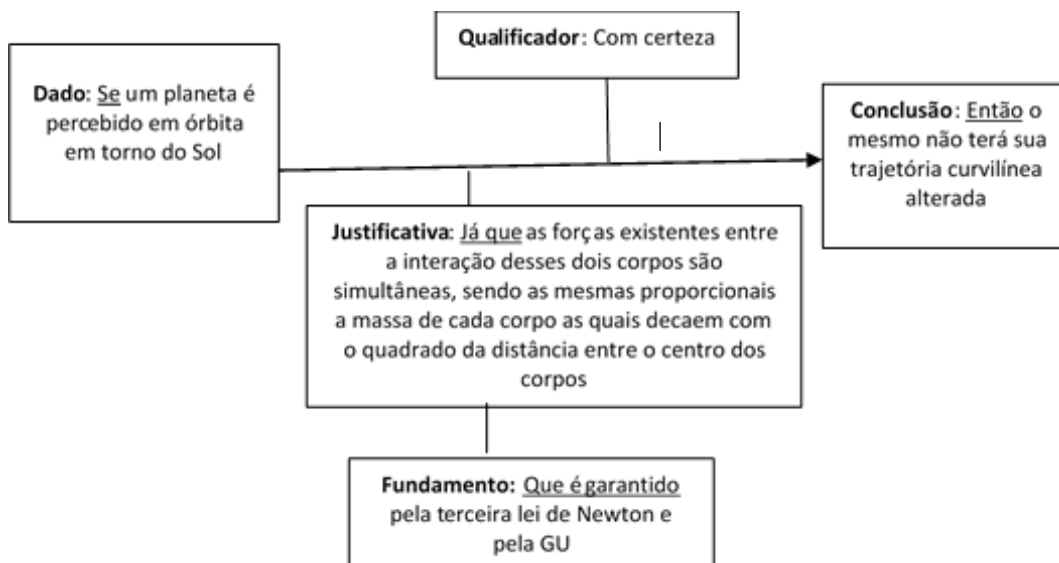
Fonte: Autoria própria.

Figura 9: Argumento do grupo B.



Fonte: autoria própria.

Figura 10 - Argumento do grupo C



Fonte: Autoria própria.

Os argumentos elaborados nos pequenos grupos serão analisados de maneira conjunta, com o propósito de enfatizar suas diferenças e semelhanças.

Pela análise do argumento apresentado nas Figuras 8, 9 e 10, em comparação com o argumento apresentado na Figura 7, observamos que alguns elementos que constituem os argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos desempenham suas funções. Ao estabelecer o fundamento dos argumentos, os alunos não conseguiram expressar a lei e as proposições que fundamentam o argumento. Logo, os argumentos recebem pontuação 1 (um) no critério *Coerência Formal*.

Todos os argumentos, por meio da **conclusão**, respondem ao problema de maneira correta. Logo, recebem pontuação 2 (dois) no critério *Validade*.

As justificativas dos argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos, que tem a função de estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**, estão dentro do contexto no qual o argumento se desenvolve. Como resultado, os argumentos recebem pontuação 2 (dois) no critério *Legitimidade*. Apesar de estarem dentro do contexto teórico, os argumentos dos pequenos grupos estabelecem justificativas com características diferentes. O grupo A, por exemplo, afirma que “a interação entre eles é mútua e a gravidade é constante”. O grupo B, por sua vez, descreve que “a ação da força centrípeta é proporcional a massa do planeta e inversamente proporcional ao quadrado da distância”, enquanto o grupo C estabelece que “as

forças existentes entre a interação desses dois corpos são simultâneas, sendo as mesmas proporcionais a massa de cada corpo as quais decaem com o quadrado da distância entre o centro dos corpos”.

Os **fundamentos** estabelecidos - “proposição V, Livro III” (Grupo A); “proposição VII” (Grupo B); “Terceira Lei de Newton e pela GU” (Grupo C) – estão dentro do contexto teórico ao qual o argumento se desenvolve. Logo, os argumentos recebem pontuação 2 (dois) no critério *Pertencimento*.

A **justificativa** do argumento do grupo A apresenta de maneira parcial uma das justificativas capazes de estabelecer a **conclusão** de modo satisfatório, isto é, apresenta uma **justificativa** que explica como o planeta interage com o Sol, mas não apresenta nenhuma capaz de explicar a órbita curvilínea descrita pelo planeta ao redor do Sol. O grupo B descreve apenas a força centrípeta como responsável em legitimar a passagem entre os **dados** e a **conclusão** do argumento que responde ao problema sobre a causa da manutenção da órbita estável dos planetas. O argumento do grupo C apresenta a interação entre os corpos e algumas das características da força gravitacional, que é responsável pela órbita curvilínea, como forma de legitimar a passagem entre os **dados** e a **conclusão**. Diante da análise desses argumentos, as justificativas são parcialmente suficientes para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**. Como resultado, os argumentos recebem pontuação 1 (um) no critério Suficiência.

Os argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos não apresentam os **fundamentos** satisfatórios para darem respaldo à **justificativa**, isto é, não foram explicitadas nenhuma das proposições, tão pouco a lei, que dá suporte à **justificativa**. No grupo C, por exemplo, os alunos citam a Terceira Lei e a Gravitação Universal, sem descrever o teor da referida lei, tão pouco das proposições que são satisfatórios para darem respaldo à **justificativa**. Logo, os argumentos recebem pontuação 0 (zero) no critério *Respaldo*.

4.2 CONSTRUÇÃO COLETIVA DE UM ARGUMENTO ENTRE OS GRUPOS

Para facilitar a compreensão de nossa análise, o episódio argumentativo referente a interação argumentativa orientado para a construção de um argumento coletivo para resolver um problema sobre a Gravitação Universal de Newton será apresentado de maneira segmentada na forma de pequenas seções.

No primeiro trecho do episódio, após a leitura dos argumentos elaborados pelos pequenos grupos (Figura 6), que foram escritos no quadro, o professor realizou algumas perguntas com o objetivo de elucidar os elementos que compõem os argumentos desenvolvidos pelos alunos durante essa atividade.

Turno 30 - Professor - Então, todos os grupos, é, marcaram cinco palavras. E são as mesmas palavras: "se", "então", "com certeza", "já que" e "que é fundamentado". Então, eu quero saber o que cada palavrinha dessa representa dentro do elemento do... do layout de..., né, o que é que ele representa... o "se" representa o que?

Turno 31 - Alguns estudantes - Dados.

Turno 32 - Professor - O "então"?

Turno 33 - Alguns estudantes - Conclusão.

Turno 34 - Professor - O "já que"?

Turno 35 - Alguns estudantes - Justificativa.

Turno 36 - Professor - O "com certeza"?

Turno 37 - Alguns estudantes - Qualificador.

Turno 38 - Professor - E o "que é fundamentado"?

Turno 39 - Alguns estudantes - Fundamentos.

Com a execução da tarefa, o professor percebe que todos os grupos identificam as mesmas palavras (se; então; com certeza; já que; que é fundamentado) (**T30/T39**). O trecho acima parece indicar como os alunos adotaram os termos marcadores para distinguir os componentes de argumentos, conforme o modelo de Toulmin (2006). Como resultado, diferente de outros trabalhos (ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; RODRÍGUEZ; DUSCHL, 2000; SÁ; QUEIROZ, 2007), não encontramos dificuldade em distinguir os componentes dos argumentos desenvolvidos pelos alunos.

Posteriormente, o professor pergunta se os alunos entenderam a questão central do problema que devem resolver (**T42**). Como resposta, os alunos **A5**, **C5** e **A3** afirmam se tratar de um problema sobre a manutenção da órbita dos planetas (**T44/T78**):

Turno 42 - Professor - Todo mundo leu o argumento do grupo B? Pra gente continuar, eu queria fazer uma pergunta para todos e todas. Por favor, prestem atenção. Eu quero que vocês me expliquem o que é que está sendo pedido nesse problema que foi colocado pra vocês. Vamos lá? Hein, A4?

(...)

Turno 44 - A5 - As causas da manutenção...

(...)

Turno 46 - C5 - É... tá pedindo a... pra explicar as causas da manutenção dessa órbita. Então, as características da força que mantém o planeta em órbita.

Turno 47 - A3 - São as características ou o porquê que se mantém em órbita?

(...)

Turno 49 - A3 - O porquê que ele mantém em órbita.

Turno 50 - Professor - De acordo com C5...

Turno 51 - A3 - Pra não sair do movimento inercial.

Turno 52 - C5 - Eu falei que seriam as características.

Turno 53 - Professor - Quer dizer... você acha que é a mesma coisa, são coisas diferentes...? Quem mais gostaria de fazer uma colocação com relação a isso?

Turno 54 - Professor - Quando vocês leem o problema, vocês conseguem identificar, por exemplo, alguma parte do elemento, do argumento, dentro layout de tudo que a gente está trabalhando, dentro do próprio problema? Ou... sim ou não? C4.

(...)

Turno 57 - Alguns estudantes - Os dados.

(...)

Turno 60 - A1 - Os dados, a fundamentação teórica...

Turno 61 - C1 - E a conclusão.

Turno 62 - C4 - Tua conclusão ali está... está, não sei, está aqui.

(...)

Turno 66 - C4 - A conclusão.

Turno 67 - A1 - Mas eu acho que a conclusão da gente não responde. É por isso que eu não... [risos]

(...)

Turno 71 - C1 - Foi porque... você perguntou, né, professor, quais eram os dados que estariam aqui, no caso. Aí, a gente falou "os dados, a conclusão e o que é garantido por". Aí, A1 falou que achava que a conclusão não estaria, no caso, nessa perguntinha. Entendeu?

Turno 72 - Professor - Por que você acha isso, A1? Você discorda da colocação das meninas?

Turno 73 - A1 - Porque você pergunta das causas. A gente explicou... tipo, a nossa conclusão é que o... a trajetória é curvilínea. Que não desvia, no caso. Tipo, não é as causas que são a conclusão, entendeu? Eu acho que pra responder essa questão, as causas disso, do porquê da existência dessa órbita, sendo que deveria ser a...

(...)

Turno 75 - A4 - É pra explicar o porquê o planeta é mantido nessa órbita curvilínea e o que mantém ele nessa órbita.

Nesse primeiro trecho do episódio, as intenções do professor podem ser caracterizadas de três maneiras, a saber: (1) Solicitar que os argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos sejam descritos no quadro para serem comparados e avaliados entre os grupos; (2) Elucidar os elementos que compõem os argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos; e (3) Identificar se os alunos

compreendem a temática abordada no problema sobre a Gravitação Universal de Newton proposto na atividade.

- Abordagem comunicativa: *interativo/de autoridade* - as perguntas do professor promovem uma interação com os alunos, que não tem o objetivo de promover uma discussão, mas de alcançar pontos de vistas específicos, a saber: ilustrar os elementos que dos argumentos construídos pelos pequenos grupos; e retomar qual a temática proposta no problema abordado na atividade;
- Padrões de Interação: No primeiro momento foi do tipo I-R-A - Iniciação do professor, Resposta do aluno, Avaliação do professor (**T30/T39**); posteriormente, do tipo I-R-P-R - o professor Inicia a interação, o aluno Responde, o Professor realiza uma pergunta para permitir o prosseguimento da fala e o aluno responde (**T44/T73**);
- Intervenções do professor: compartilhou significados a partir do momento que os argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos foram apresentados para todos os grupos; checkou o entendimento dos alunos sobre o problema proposto, assim como ocorreu ao verificar se havia consenso entre os termos marcadores utilizados para identificar os elementos dos argumentos; marcou significados ao solicitar que o estudante repetisse um enunciado para confirmar uma ideia; e realizou *feedbacks* em forma de questões para os alunos repensarem, ressignificarem e argumentarem melhor, ao invés de dar respostas prontas para os alunos .

4.2.1 DISCUSSÃO COLETIVA DO ARGUMENTO DO GRUPO B

No segundo momento do episódio, a discussão coletiva sobre o argumento do grupo B é iniciada a partir da fala do professor, que questiona aos alunos se o argumento do grupo B responde ao problema proposto (**T79**). A aluna **A4** afirma que o argumento do grupo B não responde o problema (**T80**). Na sequência, se estabelece um processo argumentativo pelo qual alguns alunos, com mediação do professor, realizam uma interação discursiva com o propósito de discutir a **conclusão** desse argumento (**T90/T108**). Como resultado dessas interações, a aluna **A4** propõe, sem nenhuma manifestação contrária de seus colegas, que a conclusão e a justificativa do argumento do grupo B devem ser alteradas (**T108**).

Turno 79 - Professor - (...) primeira pergunta que eu faço a vocês: O grupo B, eles conseguem explicar as causas da manutenção da órbita dos planetas, da órbita estável dos planetas?

Turno 80 - A4 - Não.

(...)

Turno 82 - C4 - Acho que não.

(...)

Turno 90 - A4 - Eu acho que não responde porque, assim, ele tá falando que a ação da força é proporcional à massa e inversamente proporcional ao quadrado. Eu acho que isso tá correto, mas isso não, pra mim, eu não acho que explica o porquê que esse planeta se mantém nessa órbita.

(...)

Turno 92 - A4 - É porque eu acho que essa justificativa que eles utilizaram, é... é pra responder o porquê da força, mas não explica que... o que é que mantém esse objeto ou esse corpo em órbita curvilínea, trajetória.

Turno 93 - Professor - Membros do grupo B, diante da fala de A4, como é que vocês... cês concordam ou discordam da colega? B2.

Turno 94 - B2 - Concordo com A4.

Turno 95 - Professor - B3.

Turno 96 - B3 - Não sei.

Turno 97 - Professor - B1.

Turno 98 - B1 - Hmm... não sei. Tô analisando.

Turno 99 - Professor - B4. Você concorda com A4, B2? Por que?

Turno 100 - B2 - Ele fala mais da força, mas não como esse planeta é mantido na órbita.

(...)

Turno 106 - Professor - Como é que você... se você pudesse, B2, já que você concorda com a colocação de A4, que o argumento... é... do grupo B, ele não... não explica as causas da manutenção da órbita do planeta, que é a questão central do problema. O que que você mais avaliaria dentro do... então, qual a parte do... hein, A4, você coloca essa questão, então qual a parte do argumento que você acha que precisa ser alterado pra conseguir responder as causas da manutenção dessa órbita?

Turno 107 - C5 - Na conclusão?

Turno 108 - A4 - Eu não sei o que tiro. Acho que na... ali na conclusão acho que deveria ter a trajetória especificando que é curvilínea, como fala aqui. Eu sei que fica subentendido de que a trajetória dos planetas é curvilínea, mas, talvez pra um outro leitor que, uma outra pessoa, fosse ler, ele não soubesse que essa trajetória é curvilínea. Então, acho que deveria na conclusão ter que a trajetória é curvilínea e alterar a justificativa.

No trecho acima, a aluna **A4** refuta o argumento do grupo B (**T90/T92**), isto é, aponta que a **justificativa** do argumento não estabelece a relação entre os **dados** e a **conclusão** que explica a causa da manutenção da órbita estável dos planetas. Posteriormente, a mesma aluna propõe que a **conclusão** deveria incluir o ter “curvilínea” para deixar evidente qual o tipo de trajetória é descrita pelos planetas (**T108**).

Na sequência do episódio argumentativo, os alunos discutem o **fundamento** do argumento.

Turno 112 - A1 - A fundamentação teórica.

Turno 113 - Professor - Não ouvi, A1.

Turno 114 - A1 - A fundamentação teórica.

Turno 115 - Professor - O que? O que é que você nos diz em relação à fundamentação teórica?

Turno 116 - A1 - Eu acho que essa proposição [não compreendido - 00:14:35].

Turno 117 - A5 - Na verdade, essa proposição é a seis.

Turno 118 - B2 - É a seis?

Turno 119 - A5 - Não é a 7 essa proposição. No texto, pelo menos, é a seis. Foi isso que eu tava... agora, se na conclusão precisa ter isso, o que mantém o planeta, no caso, porque se for levar em consideração o argumento 1, nenhum outro responde.

Como resultado da discussão acima, as alunas **A1** e **A5** afirmam que a proposição utilizada pelo grupo B não é capaz de dar suporte à **justificativa** do argumento (**T112/T119**). Apesar dessa discordância, nenhum aluno aponta a proposição que seria satisfatório para dar respaldo à **justificativa** do respectivo argumento.

Envolver os alunos na análise do argumento do grupo B foi a intenção do professor neste trecho do episódio argumentativo. Para tanto, diante de suas intervenções, os alunos foram capazes de explorar as ideias de seus colegas ao longo da discussão.

- Abordagem comunicativa: *interativo/dialógico* - tendo em vista que o professor conduz a discussão e em conjunto com os alunos são exploradas diferentes ideias sobre a **conclusão** e o **fundamento** do argumento do grupo B;
- Padrões de Interação: I-R-P-R - o professor Inicia a interação, o aluno Responde, o Professor realiza uma pergunta para permitir o prosseguimento da fala e o aluno Responde (**T93/T101**); e I-R-F-R-F - o professor Inicia a interação, os alunos Respondem, o Professor realiza um feedback para que os alunos elaborem um pouco sua fala e o aluno Responde (**T106/T109**);
- Intervenções do professor: estiverem voltadas para checar o entendimento dos alunos, ou seja, se existia consenso sobre os significados abordados na discussão (**T93**). Ademais, pediu aos estudantes que explicassem melhor suas ideias (**T106**).

4.2.2 DISCUSSÃO COLETIVA DO ARGUMENTO DO GRUPO C

A análise coletiva do argumento do grupo C é iniciada, a partir da pergunta do professor (**T147**), alguns alunos afirmam que o argumento não consegue explicar a causa da manutenção da órbita estável dos planetas (**T148/T149**). Diante disso, as alunas **A4** e **A1** discutem a utilização do termo “alterado” na **conclusão** do argumento do grupo C. Como resultado, a aluna **A1** sugere que a necessidade da inclusão da expressão “não” antes do termo “alterado” (**T153**).

Turno 147 - Professor - O argumento do grupo C, ele consegue explicar as causas da manutenção da órbita estável dos planetas? Primeira pergunta que eu faço. Respondam. Hein, gente? Conseguem?

Turno 148 - Alguns estudantes - Não.

Turno 149 - C4 - Não, professor.

Turno 150 - Professor - Alguém discorda de C4? Então, de acordo com vocês, o grupo 2 não consegue, então, explicar as causas da manutenção da órbita, é isso? Então, diante disso, o que é que vocês... é... gostariam de falar, de analisar com relação ao argumento do grupo C?

Turno 151 - A4 - Eu acho que, na conclusão, não deveria ter essa palavra "alterado".

Turno 152 - A4 - Porque no enunciado que você deu fala que... é mantida estável. Estável.

Turno 153 - A1 - Pode ter um "não" antes. O mesmo não terá.

No trecho acima, apesar da discussão incidir sobre a **conclusão** do argumento não é apresentado nenhum contra-argumento, isto é, não são manifestados pontos de vistas diferentes sobre o argumento.

No decorrer do episódio, a aluna **C4** afirma que eles deveriam colocar que a causa da manutenção da órbita estável dos planetas é “(...) aquela concepção que Hooke trouxe, que era de decompor o movimento e os dois componentes (...). (**T166**). O que é confirmado por outros membros do grupo C (**T167/T168**). Diante da resposta de **C4** (**T166**), o professor questiona o que deveria mudar no argumento. Nenhum aluno se manifesta e o professor propõe que os elementos do argumento sejam analisados um por um, começando pelos **dados** (**T175/T179**). No decorrer da discussão, o aluno **C1** afirma que a **justificativa** do argumento deve mudar (**T213**).

Turno 166 - C4 - A gente estava pensando que o que mantém, de fato, o planeta seria a... aquela concepção que Hooke trouxe, que era de decompor o movimento e os dois componentes... Aí a gente pensou isso inicialmente, mas a gente acabou sendo levada a essa outra teoria...

Turno 167 - C2 - É.

Turno 168 - C1 - Foi isso mesmo.

(...)

Turno 175 - Professor - Então, é... vou solicitar que vocês procurem, então, analisar agora parte por parte. Ou seja, cada elemento dentro do argumento elaborado pelo grupo C. Então, inicialmente, eu vou refazer a primeira

pergunta: O grupo C, eles conseguem explicar as causas da manutenção na órbita dos planetas?

Turno 176 - C1 - Não.

(...)

Turno 179 - Professor - Diante da resposta de vocês, alguém discorda da resposta que foi colocada aí? Os dados, que inicia com que frase, com que palavra, de acordo com vocês?

(...)

Turno 188 - C1 - Eu acho que deveria mudar o "já que".

Turno 189 - Professor - O "já que" se refere, C1, no segundo dado do argumento do grupo C, a que parte do argumento de vocês?

Turno 200 - C1 - Justificativa.

(...)

Turno 207 - A5 - Eu acho que entraria na justificativa porque a gente iria explicar o porquê ela se permanece a partir da conclusão que nós botamos. Agora, montar essa justificativa tá tenso, viu professor. O senhor vai ter que desembolar aí pra botar a gente pra entender, viu?

(...)

Turno 210 - Professor - É... voltando aqui ao que C1 colocou, que mudaria a justificativa do grupo C. Então, eu vou reler a justificativa em voz alta. Diz: "Já que as forças existentes entre a interação desses dois corpos são simultâneas, sendo as mesmas proporcionais à massa de cada corpo, as quais decaem com o quadrado da distância entre o centro dos corpos."

(...)

Turno 213 - C1 - Então, professor, porque a gente tinha pensado, logo no início, de colocar de outro jeito, já que o planeta fica submetido a dois tipos de movimento, que seriam um inercial e um acelerado atrativo. Tem mais coisa aqui, mas...

(...)

Turno 216 - Professor - Alguém gostaria de fazer alguma colocação a respeito disso?

(...)

Turno 223 - A2 - Também acho que ainda assim não responde o que é perguntado.

(...)

Turno 230 - Professor - (...), eu quero entender, que vocês me expliquem o que isso significa pra vocês. Vamos lá, gente, concentra. O que isso significa dentro da análise do argumento do grupo C. Não responde porque não se relaciona com a questão que é colocada, que é explicar as causas da manutenção da órbita, né? Ou não responde porque é inconclusivo ainda. Quero que vocês me expliquem isso, quem poderia...

Turno 231 - A4 - Eu acho que não explica, ao menos a parte que ela leu depois. Não explica a manutenção, mas explica o porquê a órbita é curvilínea.

(...)

Turno 234 - A4 - Porque você falou que mudaria e colocaria que "já que o planeta é desviado...", que seriam dois movimentos, né isso? Então, essa sua justificativa, acho que responde o porquê da trajetória curvilínea, mas não o que mantém ele nessa trajetória.

No trecho acima, a estratégia adotada pelo professor de questionar os alunos foi importante para estabelecer uma discussão sobre a **justificativa** do argumento do grupo C. Assim, após algumas interferências do professor, com a participação de outros alunos, a aluna **A4** refuta à **justificativa** do grupo C, ao descrever que o

argumento não explica a manutenção da órbita estável dos planetas, apesar de explicar a trajetória curvilínea descrita por estes (**T231/T234**).

Após a discussão da relevância da hipótese de Hooke do movimento circular para explicar a causa da manutenção da órbita dos planetas, alguns alunos defendem que se os componentes do movimento dos planetas forem constantes seria possível explicar o motivo da manutenção na órbita dos planetas (**T243**).

Turno 243 - C2 - É porque se os dois movimentos fossem constantes, né, é, tipo, os movimentos... daria pra explicar o movimento porque... ah, deixe quieto. Não sei explicar não.

Turno 244 - C1 - Daria...

Turno 245 - C2 - Se os dois movimentos fossem constantes...

Turno 246 - C3 - Pra explicar a manutenção?

Turno 247 - C2 - É, exato. Daria pra explicar a manutenção. Porque os dois movimentos são constantes.

(...)

Turno 251 - A4 - A gente tem que adivinhar o que foi que ele falou.

A5 - É, da velocidade... essas coisas. Eu acho que ainda, isso pra mim ainda explica a manutenção do...

Turno 252 - A4 - Só que no texto a gente não tá trabalhando com velocidade. Então, não dá pra usar a velocidade pra explicar o movimento.

(...)

Turno 254 - A1 - É porque... assim, essa aceleração que vai estar sendo... é, tipo, sobre esse planeta, ela vai estar mudando a direção dessa velocidade, o que responde também. A da distância. Ela não muda o módulo da velocidade, então ele vai estar percorrendo esse percurso aí, circular, com a mesma velocidade e a aceleração dela não tá... a aceleração não tá... tanto a aceleração não muda quanto a velocidade não muda em módulo. Só vai estar mudando o sentido. Por isso que ela faz esse movimento circular, se não muda o sentido. Que é o que a gente tem hoje, completando, todo o movimento de hoje em dia, no caso do movimento circular mesmo. Então... tanto que a gente bota ali que, no nosso, a gente fala que a gravidade é constante, mas não. A gravidade é... no caso, essa aceleração centrípeta, ela seria constante. E essa força, né, ela vai depender dessa distância e dessa massa. A massa, a gente sempre trabalha normalmente que essa massa é constante. Cê não vai estar pegando e mudando essa massa do planeta, né. Normalmente não se usa, por isso que a gente não colocou nessa mesma distância. O principal é que essa distância entre o planeta e o Sol, no caso, né, não muda. A ideia principal é que não mude, pra poder manter esse movimento estável. No caso, circular.

Turno 255 - Professor - Agora, o movimento de órbita de um planeta ao redor do Sol, ele é perfeitamente circular?

Turno 256 - C1 - Não.

Turno 257 - Professor - O que isso significa? A distância do planeta ao Sol se mantém constante?

Turno 258 - A1 - Porque a aceleração é diferente, a velocidade é diferente. Então, não...

Turno 259 - Professor - Então, vamos lá, continuando. A gente conseguiu, a gente vai conseguir chegar num... C1, o que é que você analisa dentro daquilo que foi colocado em relação à justificativa do que você colocou?

(...)

Turno 262 - A1 - Me tire essa dúvida. Tem uma parte do texto, se eu não me engano, que você fala que quando há interação entre dois corpos, eles giram em torno do centro de massa. Acho que tem uma citação assim, que

esse movimento circular é em torno do centro de massa. Isso aí explica o porquê desse corpo se manter nesse movimento circular. Não necessariamente, o estável. Mas o movimento circular.

Turno 263 - Professor - Por que você acha que explica?

Turno 264 - A1 - Porque se esse corpo vai estar... vai estar tendo essa interação entre esses dois corpos, no caso, o Sol e o planeta. O centro de massa vai estar muito mais próximo do Sol.

Turno 265 - Professor - Por que?

Turno 266 - A1 - Porque a massa do Sol é muito maior do que as dos planetas. Então, é, esse corpo vai estar girando entre um ponto muito próximo ao Sol. O ponto fixo vai estar muito próximo do Sol porque aí, acho que, não tenho certeza, mas pra gente ele é aproximado pelo movimento circular mesmo. Então, a gente considera o ponto do próprio centro, pelo centro do Sol. Então, com base nessa explicação que, acho que no texto traz, não tenho certeza agora, dá pra explicar aquele movimento.

A estratégia adotada pelo professor suscitou a discussão sobre a Proposição I que é importante para respaldar a **justificativa** do argumento que responde ao problema proposto.

Depois de anos de discussões e discordâncias, a hipótese levantada por Hooke levou Newton a mudar sua concepção sobre a dinâmica planetária (COHEN, 1983, 1988, 1999; TEIXEIRA; PEDUZZI; FREIRE-JÚNIOR, 2010a; WESTFALL, 1971, 1995;). O método de Hooke foi aplicado por Newton no "Principia" para mostrar como um corpo inicialmente inercial se move de acordo com a lei das áreas de Kepler quando submetido à ação de uma força central.

A partir da indagação do professor (**T267**), a aluna **A1** descreve que é preciso especificar quais proposições da Gravitação Universal e quais características da Terceira Lei são capazes de fundamentar o argumento do grupo C (**T270**). Na sequência, a aluna **C5** concorda com as colocações de **A1**. Posteriormente, aponta qual característica da Terceira Lei de Newton é capaz de estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão** do argumento (**T274**).

Turno 267 - Professor - Pronto. No feedback, você... Existe algum outro elemento do argumento 2 que... a gente perguntou um por um e ali que vocês também grifaram "que é garantido", do grupo 2. Que se refere a que elemento layout do argumento de vocês?

Turno 268 - C1 - Fundamentos.

Turno 269 - Professor - Vocês... alguém... presta bem atenção, do grupo C, o fundamento do grupo C, está de acordo com... por que não, A1?

Turno 270 - A1 - É muito longo, tipo, mas que parte da GU? Então, por mais que a questão em si traga isso como fundamento da questão, acho que é muito amplo porque, assim, é pela Terceira Lei... Sim, mas, um que? Entendeu? E parece que não tá comunicando, a parte de cima com... por exemplo, o que é que a Terceira Lei...

Turno 271 - Professor - A parte de cima, cê fala que parte?

Turno 272 - A1 - A justificativa. O que é que a justificativa tá relacionando com a Terceira Lei ali? Se vocês conseguirem... acho que, na minha visão,

não tem ligação. Parece que pegou ali porque a questão já traz, então, vou colocar. Não sei, não sei se também foi isso.

Turno 273 - Professor - Grupo C, dentro da colocação colocada... C5?

Turno 274 - C5 - Na verdade... eu acho que realmente tá errado, mas, na verdade, a Terceira Lei, a gente colocou porque as forças são simultâneas. As forças entre esses dois corpos, a gente colocou que as forças são simultâneas e, por isso, que a gente colocou a Terceira Lei. Mas, também concordo que deve tá errado porque, realmente, é muito amplo.

Turno 275 - Professor - Então, reconhecendo que é muito amplo, o que é que vocês achavam que deveria, então... que tipo de modificação seria feita? Como seria feita essa modificação?

Turno 276 - C5 - A modificação, eu não sei, mas teria que mudar a justificativa e o fundamento.

(...)

Turno 278 - A5 - Acho que seria mudar o fundamento. A justificativa, acho que poderia ficar desse jeito e só apenas mudar esse fundamento. Tirar, no caso. O GU, especificar o que é que você tá tratando. Colocar alguma proposição de qual livro você tá tratando também. E a justificativa, não necessariamente mudar, mas... mudar alguns termozinhos.

A discussão em torno da **justificativa** e do **fundamento** do argumento estabeleceu entre os alunos a importância de explicitar qual característica da Terceira Lei de Newton é importante para dar respaldo à **justificativa** do argumento.

Envolver os alunos na análise do argumento do grupo C foi a primeira intenção do professor neste trecho do episódio argumentativo. No decorrer deste trecho, o professor mediu e incentivou a discussão sobre diferentes elementos do argumento.

- Abordagem comunicativa: *interativo/dialógico* – a partir das perguntas do professor explorou ideias, formulou perguntas e trabalhou diferentes pontos de vista durante a discussão;
- Padrões de Interação: I-R-F-R-F - o Professor Inicia a interação, os Alunos Respondem, o Professor realiza um feedback para que os alunos elaborem um pouco sua fala e o Aluno Responde; I-R-A – para confirmar uma ideia com o aluno (**T257**);
- Intervenções do professor: Pede aos alunos que expliquem melhor suas ideias (**T169** e **T230**, por exemplo); solicita aos alunos que repitam suas ideias (**T271**, por exemplo); marca significados importantes ao propor que o aluno repita um enunciado (**T257**).

4.2.3 DISCUSSÃO COLETIVA DO ARGUMENTO DO GRUPO A

A análise do argumento do grupo A tem início a partir de questão realizada pelo professor (T289). Em outro trecho (T305/T314), com incentivo do mesmo professor, os alunos destacam cada elemento do argumento.

Turno 289 - Professor – (...) O argumento do grupo A consegue explicar as causas da manutenção da órbita estável do planeta? (...)

Turno 290 - Alguns estudantes - Não.

Turno 291 - Professor - Por que não?

Turno 292 - A5 - Mesma coisa.

(...)

Turno 294 - B2 - Tá na mesma linha de pensamento. Explicou a causa das forças e tal...

Turno 295 - A4 - E a gravidade não vai ser constante. Porque a órbita dos planetas não são círculos perfeitos ao redor do Sol.

Turno 296 - Professor - Não entendi, A4.

Turno 297 - A4 - A gravidade não vai ser constante, como a gente colocou, porque a órbita dos planetas não é uma circunferência perfeita ao redor do Sol.

(...)

Turno 305 - Professor - Grupo A, qual o dado do argumento de vocês?

Turno 306 - A4 - "Se um planeta primário é percebido em órbita ao redor do Sol..."

Turno 307 - Professor - Qual é a conclusão?

Turno 308 - A4 - "Então, ele não desvia dessa trajetória curvilínea."

Turno 309 - Professor - Qual é o qualificador?

Turno 310 - A4 - "Com certeza".

Turno 311 - Professor - Qual a justificativa?

Turno 312 - A4 - "Já que a interação entre eles é mútua e a gravidade é constante."

Turno 313 - Professor - E qual a fundamentação?

Turno 314 - A4 - Proposição 5.

(...)

Turno 316 - Professor - A2, você acha que o argumento do seu grupo, do grupo A, consegue explicar as causas da manutenção estável do planeta?

Turno 317 - A2 - Não.

Turno 318 - Professor - Por que você acha que não?

Turno 319 - A2 - Como o problema dos outros grupos, que fala sobre a força, mas não necessariamente fala sobre o que pede na questão.

(...)

Turno 321 - A2 - Seria a causa do movimento dos corpos celestes.

Turno 322 - Professor - Da manutenção.

Turno 323 - A2 - Da manutenção da órbita dos planetas.

(...)

Turno 325 - C3 - É, no caso, como todo mundo tá falando aqui o tempo todo que não responde, mas dentro do que o grupo propôs ali, eu deixaria como tá. Mesmo não respondendo.

(...)

Turno 335 - Professor - A5, o que é que... que colocação você... a análise que você faz do argumento do grupo A?

(...)

Turno 338 - A5 - Todo mundo já falou. Ele não responde o objetivo da questão em si. Não responde isso, o "porquê", a manutenção do...

No trecho acima, um processo dialógico é estabelecido para explicar o motivo pelo qual o argumento do grupo A não é capaz de explicar as causas da

manutenção da órbita estável dos planetas. A discussão se desenvolve a partir de uma série de pequenas perguntas voltadas para incentivar o envolvimento dos alunos na discussão (**T291**; **T304**; **T316**; **T324**).

A principal intenção do professor neste trecho, envolve engajar os alunos na discussão coletiva do argumento elaborado pelo grupo A.

- Abordagem comunicativa: *Interativo/de autoridade* (**T304/T314**), *interativo/dialógico* (**T325/T338**), que envolve os alunos C1 e C3, com mediação do professor;
- Padrão de interação: I-R-F-R-F (o professor Inicia a interação, os alunos Respondem, o Professor realiza um feedback para que os alunos elaborem um pouco sua fala e o aluno Responde (**T316/T323**, por exemplo); Em outros momentos, a interação é do tipo I-R-A - Iniciação do professor, Resposta do aluno, Avaliação do professor) (**T304/T314**);
- Intervenções do professor: Solicitou aos alunos envolvidos na discussão que explicassem o motivo pelo qual o argumento do grupo A não respondia ao problema (**T291**; **T324**); pede ao estudante que explique melhor sua ideia (**T316**; **T318**; **T320**, por exemplo).

4.2.4 CONSTRUÇÃO DO ARGUMENTO COLETIVO ENTRE OS GRUPOS

Com o fim da discussão e reflexão coletiva dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos, tem início, por orientação do professor, o processo de construção coletiva do argumento que deve representar um consenso entre os grupos para responder ao problema proposto.

Turno 372 - A4 - Eu acho que os dados e a conclusão, pode colocar igual a qualquer um, mas o problema é a justificativa.

(...)

Turno 379 - C5 - Em órbita ao redor do Sol...

Turno 380 - C2 - É a força gravitacional.

Turno 381 - C5 - O que?

Turno 382 - C2 - A força gravitacional.

Turno 383 - A1 - Que o mesmo, ele não desvia da sua trajetória curvilínea.

Para a aluna **A4**, os **dados**, assim como a **conclusão** do argumento coletivo entre os grupos, podem ser o mesmo dos argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos, pois o desafio será justificar o argumento (**T372**). Nesse momento, existem indícios que a aluna **A4** esteja reforçando a conclusão dos

argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos, mas também reforça a sua refutação em relação à **justificativa** desses argumentos.

Diante da questão colocada por **A4**, o professor realiza algumas questões a fim de fazer os alunos refletirem sobre o papel da **justificativa** do argumento (**T394/T519**).

Turno 394 - Professor - Qual o papel da justificativa dentro do argumento?

Turno 395 - C1 - Responder.

Turno 396 - A4 - Dizer as causas da manutenção.

Turno 397 - C1 - Da manutenção e da conclusão.

Turno 398 - Professor - Isso, dentro da estrutura. Qual o papel da justificativa dentro do layout do argumento?

Turno 399 - Alguns estudantes - Sustentar a conclusão.

(...)

Turno 405 - C1 e C5 - Sustentar a conclusão.

(...)

Turno 437 - C3 - Estabelecer relação entre os dados e a conclusão.

(...)

Turno 466 - A4 - Eu acho que, dentro do que a gente discutiu, não existe nada que vá justificar essa conclusão. A única que a gente poderia colocar, só pra não ficar sem elaborar o argumento, é o que C1 sugeriu, explicar o porquê da trajetória curvilínea, mas não o porquê que ele não se desvia porque eu sinceramente não sei.

(...)

Turno 469 - A4 - Mas aí vai colocar só a explicação, o porquê que a trajetória é curvilínea e não porque ele...

(...)

Turno 484 - C1 - Já que o planeta fica submetido a dois tipos de movimento: um inercial e um acelerado atrativo...

(...)

Turno 488 - C1 - Este responsável por não alterar sua trajetória curvilínea do planeta. Mas acho que aí nem precisa colocar não. Não sei.

Turno 489 - B2 - Não alterar...

Turno 490 - A4 - Acho que precisa... não precisa colocar essa parte, "sendo este"...

(...)

Turno 495 - A1 - Se colocaria "constante", responde a questão.

(...)

Turno 497 - A1 - Se a aceleração é constante.

(...)

Turno 504 - A5 - Acelerado.

(...)

Turno 507 - A1 - Atrativo. Força constante.

(...)

Turno 509 - A4 - Mas aí, acho que aí... Aí, fica assim, ó, que o planeta fica submetido a dois tipos de movimento: um inercial e outro acelerado. Ficou a escrita estranha. Ficou "dois tipos de movimento inercial". Aí fica parecendo que são dois tipos de movimento inercial, não um movimento inercial e um acelerado.

Na passagem acima, diferentes alunos afirmam que a função da **justificativa** é estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão** (**T446**). Na sequência, os alunos começam a refletir sobre a **justificativa** do argumento coletivo. No primeiro

momento, a aluna **A4** repete a ideia apresentada no trecho no qual a discussão esteve concentrada no argumento desenvolvido pelo grupo C. Assim, continua reforçando a sua refutação em relação à **justificativa** desses argumentos (**T466**). Como resultado da discussão, o aluno **C1** descreve, com contribuição dos alunos **A4**, **A1** e **A5**, que além do movimento inercial, existe uma força centrípeta, atrativa, com aceleração constante, que atua sobre o planeta fazendo-o descrever uma trajetória curvilínea ao redor do Sol (**T469/T509**).

Na sequência, os alunos começam a refletir sobre o fundamento do argumento coletivo entre grupos (**T523/T565**). Embora no início da discussão os alunos apresentem dificuldade para tentar apresentar o **fundamento**, conseguem estabelecer que as proposições I e II dão suporte à justificativa (**T565**).

Turno 523 - B1 - Qual que é a fundamentação teórica... coerente...
(...)

Turno 533 - B1 - É uma concepção de Hooke.

(...)

Turno 542 - A4 - Acho que é a proposição 1 e 2, não?

(...)

Turno 545 - C1 - Qual é a proposição?

(...)

Turno 547 - A1 - Tá no texto.

(...)

Turno 549 - A5 - Pela proposição 1 e 2.

Turno 550 - A4 - A proposição 2 para que o povo resolveu incluir Newton na Lei das Áreas, logo está sujeito à ação de uma força central, que altera o seu movimento inercial.

Turno 551 - C2 - Mas, tipo, a ideia de Newton tá na 1 e 2, não? Isso aqui é em relação ao que?

Turno 552 - A5 - E nesse caso aí seria o que?

Turno 553 - A4 - Que é descrita...

Turno 554 - B1 - Porque se a gente arremessa assim... mas não tem, não tá aí no texto. Não tem no texto não.

Turno 555 - C3 - Então, professor...

(...)

Turno 558 - B2 - Que é garantido?

(...)

Turno 565 - A5 - Pela proposição 1 e 2.

Nesse trecho, observamos que a discussão com mediação do professor parece ter contribuído para a resignificação dos argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos. Como resultado, a aluna **A4** consegue explicitar as proposições que são satisfatórias, junto com a Terceira Lei de Newton, para dar respaldo à **justificativa** do argumento que responde ao problema (**T550**).

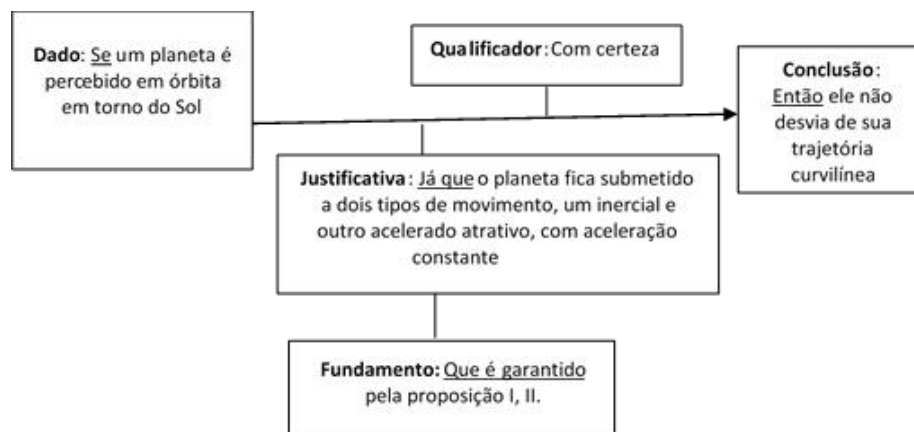
Nos trechos finais, a principal intenção do professor é mediar e incentivar a participação dos alunos durante o processo de construção do argumento coletivo entre os grupos.

- Abordagem comunicativa: *interativo/dialógico*, tendo em vista que a construção coletiva do argumento entre os grupos com mediação do professor envolveu a exploração de diferentes ideias, sendo considerados diferentes pontos de vista; No final do episódio, a abordagem comunicativa foi do tipo *Não-interativo/de autoridade*, já que o professor apresentou o ponto de vista da Ciência para sistematizar o argumento desenvolvido pelos alunos;
- Padrão de interação: I-R-F-R-F (o professor Inicia a interação, os alunos Respondem, o Professor realiza um feedback para que os alunos elaborem um pouco sua fala e o aluno Responde;
- Intervenções do professor: Encoraja a participação dos alunos (**T385** e **T391**); Solicita explicações sobre o papel da justificativa dentro do argumento (**T394**; **T398**; **T415**; **T436** e **T448**).

4.3 QUALIDADE DO ARGUMENTO COLETIVO ENTRE OS GRUPOS

O processo argumentativo analisado acima produziu um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton, que pode ser representado de acordo com o modelo de Toulmin da seguinte forma:

Figura 11 Argumento coletivo sobre a Gravitação Universal, desenvolvido entre os grupos com mediação do professor.



Fonte: Autoria própria.

Pela análise do argumento apresentado na Figura 11, em comparação com o argumento apresentado na Figura 7, identificamos que alguns elementos que constituem o argumento desenvolvido pelos alunos desempenham suas funções. Ao estabelecer o fundamento do argumento, os alunos apenas citam as proposições que fundamentam o argumento, isto é, não explicitam o seu teor. Como resultado, o argumento recebe pontuação 1 (um) no critério *Coerência Formal*.

O argumento, por meio da **conclusão**, responde à questão do problema de maneira correta – “ele não desvia de sua trajetória curvilínea” – logo o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério *Validade*.

A partir da análise da **justificativa**, que estabelece a relação entre os **dados** e a **conclusão**, o argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério *Legitimidade*, visto que todas as **justificativas** estão dentro do contexto teórico ao qual o argumento se desenvolve.

O argumento recebe pontuação 2 (dois) no critério *Pertencimento*, tendo em vista que o **fundamento** – “proposição I e II” - está dentro do contexto teórico de construção do argumento.

O argumento recebe pontuação 1 (um) no critério *Suficiência*, haja vista que o argumento apresenta apenas algumas das **justificativas** capazes de legitimar a relação entre os **dados** e a **conclusão** – “o planeta fica submetido a dois tipos de movimento, um inercial e outro acelerado atrativo, com aceleração constante” - mas não apresenta a **justificativa** necessária para explicar como o planeta interage com o Sol como forma de manter sua órbita estável ao redor deste.

Os alunos estabelecem as proposições I e II para fundamentar o argumento, sem levar em consideração a Terceira Lei de Newton. Apesar de apenas citarem as referidas proposições, no processo de discussão que culminou na construção do argumento coletivo entre os grupos com mediação do professor os alunos expressaram uma compreensão, mesmo de maneira parcial, dessas proposições (**T488/T509** e **T550**). Assim, o **fundamento** estabelecido é parcialmente satisfatório para dar respaldo à **justificativa**. Como resultado, o argumento recebe pontuação 1 (um) no critério *Respaldo*.

Conforme a teoria da Gravitação Universal de Newton, os planetas são retidos em suas órbitas por uma força que atua continuamente sobre eles, que varia com o

inverso do quadrado da distância ao centro da órbita e na direção ao centro desta. Em conformidade com a Terceira Lei de Newton, essa força atua de maneira contínua e de forma simultânea (NEWTON, 1999; SILVA; TEIXEIRA, 2021a).

4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o objetivo de responder as questões de pesquisa que orientam o estudo desenvolvido neste artigo, analisamos as interações discursivas ocorridas no processo argumentativo que culminou na construção coletiva de um argumento entre os grupos com mediação do professor. Para além disso, os argumentos coletivos desenvolvidos nos pequenos grupos, assim como o argumento entre os grupos, também foram objeto de nossa análise.

As interações discursivas constituem o processo de construção de significados em sala de aula (MORTIMER; SCOTT, 2002). Essas interações são maneiras pelas quais o professor e os alunos se relacionam em sala de aula e como estes se conectam com os conhecimentos que ali são abordados (SASSERON, 2020). No episódio argumentativo analisado, a intenção do professor converge para o seguinte ponto: promover um processo argumentativo voltado para a discussão coletiva dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos, que deve gerar um argumento coletivo entre os grupos para resolver um problema sobre a Gravitação Universal de Newton. Para alcançar esse objetivo, no decorrer da discussão entre os grupos o professor procurou, a saber: esclarecer se os alunos compreendiam o tema do problema ao qual deveriam construir um argumento para solucionar; provocar o envolvimento dos alunos na discussão; incentivar que os alunos considerassem as ideias de seus colegas; gerar oportunidade para reflexão dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos; e possibilitar um processo de ressignificação que culminou na construção de um argumento entre os grupos.

A partir da análise dos dados, identificamos que na maior parte da discussão entre grupos o professor adotou uma abordagem do tipo *Interativa/dialógica* (I/D). Por consequência, ao longo da interação discursiva diferentes pontos de vistas foram aceitos a partir da presença de diferentes vozes (MORTIMER; SCOTT, 2002). Portanto, existem indícios que a abordagem adotada pelo professor possibilitou aos alunos a oportunidade de se envolverem na discussão e explorar as diferentes

ideias expostas pelos seus colegas. Ao investigar ações favoráveis ao ensino envolvendo argumentação no ensino de Química Ibraim (2018) encontrou resultados semelhantes ao nosso.

Apesar de uma incidência maior de uma abordagem comunicativa do tipo I/D, a abordagem comunicativa foi diversificada ao longo do episódio argumentativo. Em alguns momentos, em conformidade com as intenções do professor durante a atividade, a abordagem comunicativa foi do tipo *Interativo/de autoridade (I/A)*, quando buscava alcançar um ponto de vista comum sobre o tema abordado, e do tipo *Não-interativo/de autoridade (NI/A)*, ao sistematizar o argumento final.

Os padrões de interação produzidos foram do tipo I-R-A, I-R-P-R e I-R-F-R-F. Por meio da variação desses padrões, os alunos foram capazes de elaborar melhor suas falas, além de serem avaliadas pelo professor. Esse é um resultado importante, pois o ensino voltado para a promoção da aprendizagem no contexto da sala de aula deve se desenvolver através de diferentes classes de abordagem comunicativa (MORTIMER; SCOTT, 2002). Para mais, também destaca que o professor adotou uma abordagem dialógica no processo de construção coletiva de um argumento entre os grupos, que é uma condição primordial para que se produza um ambiente argumentativo em sala de aula. Resultado semelhante foi encontrado por Teixeira et al. (2010b), que investigaram a qualidade da argumentação sobre a síntese newtoniana, em um curso de formação de professores de Física.

No decorrer da atividade, o professor efetuou diferentes ações para garantir que os alunos se envolvessem no processo argumentativo orientado para a construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton. No primeiro momento, com a intenção de suscitar uma discussão coletiva sobre os argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos, o professor solicitou que todos os grupos escrevessem seus argumentos no quadro branco. Em seguida, um membro de cada grupo leu o argumento do seu referido grupo. Dessa maneira, o professor realizou uma ação epistêmica que Ferraz e Sasseron (2017) definem como retomar, que envolve levar para a discussão as informações necessárias para o desenvolvimento da atividade. Em nosso caso, a atividade envolve discutir os argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos e, posteriormente, elaborar um argumento coletivo entre os grupos com mediação do professor.

Em diferentes momentos do episódio argumentativo, o professor explorou as ideias dos alunos a respeito dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos. Assim, verificou quais significados foram atribuídos pelos estudantes nessa atividade (MORTIMER; SCOTT, 2002). Também incentivou os alunos a desenvolver melhor suas ideias, além de torná-las conhecidas entre os demais colegas. Assim, tornou os significados concebidos nos pequenos grupos disponíveis a todos os alunos da turma (MORTIMER; SCOTT, 2002). Em concordância com Ibraim e Justi (2018), essa é uma ação favorável ao ensino envolvendo argumentação, na medida em que procura construir um melhor entendimento acerca das diferentes ideias e explicações manifestadas pelos alunos.

Durante a discussão dos argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos, o professor realizou intervenções importantes para o processo argumentativo que produziu a construção coletiva de um argumento entre os grupos. Na discussão da justificativa do argumento do grupo C, a aluna **C4** aponta a concepção de Hooke do movimento circular como sendo relevante para explicar a causa da manutenção dos planetas. Após algumas interferências do professor, com a participação de outros alunos, eles descrevem que essa concepção é capaz de explicar a trajetória, mas não a causa da manutenção desta (**T231** e **T234**). Como resultado dessa discussão, no processo de construção do argumento coletivo entre os grupos (**T466/T568**), os alunos foram capazes de reconhecer que a justificativa do argumento que responde ao problema que deve ser capaz de explicar que a trajetória curvilínea de um planeta é resultado da composição de dois tipos de movimentos ao qual este é submetido.

Em outro trecho do episódio argumentativo (**T267/T278**), o professor, ao explorar as ideias dos alunos, possibilitou que estes reconhecessem a necessidade de enfatizar as características da Terceira Lei de Newton a fim de estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão** do argumento (**T274**). Por consequência, diferente do que ocorreu nos argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos, especificamente nos grupos A e B, os alunos descreveram de maneira específica a característica da Terceira Lei que possui a capacidade de legitimar a passagem entre os **dados** e a **conclusão**

Os argumentos elaborados pelos estudantes durante a atividade em pequenos grupos e entre grupos com mediação do professor, foram analisados e receberam as seguintes pontuações:

Quadro 4 - Comparação da pontuação dos argumentos desenvolvidos pelos alunos.

	C			V			L			P			S			R		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Grupo A	1			2			2			2			1			0		
Grupo B	1			2			2			2			1			0		
Grupo C	1			2			2			2			1			0		
Entre grupos	1			2			2			2			1			1		

Fonte: Elaborado pelos autores.

Diante do quadro acima, é possível identificar as diferenças entre os argumentos elaborados pelos alunos na atividade em pequenos grupos e entre grupos com mediação do professor. No critério *Coerência Formal*, todos os argumentos receberam a pontuação 1(um). Diante desse resultado, notamos que os futuros professores de Física parecem ter se apropriado do aspecto formal que constitui a construção de um argumento, a menos do elemento fundamento, haja vista que eles apenas citavam a lei e/ou a proposição que dá suporte à justificativa, sem deixar explícito o seu teor.

Nos critérios *Validade*, *Legitimidade* e *Pertencimento*, os argumentos receberam pontuação 2 (dois). Isso significa que os argumentos respondem de maneira correta o problema por meio da **conclusão**; que as **justificativas** estão dentro do contexto teórico no qual os argumentos são construídos; e que os **fundamentos** também estão dentro do contexto teórico ao qual os argumentos foram construídos.

Esse é um resultado esperado, haja vista que o próprio problema proposto apresenta os **dados** – Um planeta é percebido em órbita ao redor do sol [...] – a **conclusão** – Sabendo que essa órbita é mantida como instável, isto é, o planeta não desvia de sua trajetória curvilínea [...] – e o contexto teórico – “[...] levando em consideração seus conhecimentos a respeito da Terceira Lei de Newton e da Gravitação Universal” (Figura 5). Para mais, esse resultado também mostra que os

alunos não tiveram dificuldade em identificar os elementos que compõem o argumento.

Diante dos resultados descritos, concluímos que o desafio para a elaboração do argumento que responde ao problema envolve identificar as **justificativas** que são suficientes para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**, assim como se os **fundamentos** mobilizados são satisfatórios para dar respaldo à **justificativa**. Como resultado dessa inferência, observamos, em diversos momentos da discussão entre os grupos com mediação do professor, que a **justificativa** e o **fundamento** dos argumentos era o principal ponto da discussão.

Na discussão do argumento do grupo B, que foi o primeiro a ser analisado entre os grupos, o fundamento utilizado pelos alunos - *Proposição VII* – foi apontada pelos alunos como sendo incapaz de dar suporte à **justificativa** (T111/T137). Posteriormente, durante a discussão do argumento do grupo C, a hipótese de Hooke sobre o movimento circular surge como importante para explicar a causa da manutenção da órbita dos planetas (T155/T168). Em decorrência disso, a aluna **C1** afirma que a **justificativa** do argumento de seu grupo deve mudar (T186/ T234).

Durante a discussão que culminou na construção do argumento entre os grupos, a hipótese descrita na discussão do argumento do grupo C é levantada de maneira direta (T394/T519). Logo, esse é um indício de que a discussão entre os grupos com mediação do professor possibilitou um processo de ressignificação dos argumentos desenvolvido pelos pequenos grupos. Todavia, apesar de reconhecerem que a hipótese não é capaz de explicar a causa da manutenção da órbita dos planetas, mas apenas a trajetória curvilínea destes, os alunos tiveram dificuldade em apresentar todas as **justificativas** suficientes para estabelecer a relação entre os **dados** e a **conclusão**. Como consequência, o argumento entre os grupos recebeu pontuação 1 (um) no critério *Suficiência*, assim como aconteceu com os argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos.

Na construção do argumento coletivo entre os grupos, os futuros professores formam capazes de mobilizar um dos fundamentos que dão suporte à **justificativa**. Assim, como resultado, a discussão entre os grupos com mediação do professor foi capaz de melhorar a qualidade dos argumentos desenvolvidos pelos alunos. Esse é um resultado importante, pois destaca que a qualidade do argumento melhora a

partir do processo de ressignificação, que ocorre de discussões e do conflito de ideias. Apesar disso, esses resultados também destacam um problema recorrente na educação científica por argumentação, que é a dificuldade dos alunos de mobilizarem os fundamentos científicos para argumentarem sobre ciências (KRUMMHEUER, 2007; TEIXEIRA et al., 2010).

Algumas ações do professor foram essenciais para o processo de ressignificação dos argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos. Primeiro, destacamos o objetivo de colocar os alunos para comparar e discutir os argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos de maneira coletiva. Por intermédio dessa ação, ocorreu um processo de interação discursiva, que valorizou a construção coletiva e social do conhecimento científico (SANTOS, 2017; TEIXEIRA et al., 2010b). Ademais, por consequência dessa ação, os alunos foram capazes de defender suas ideias, realizar refutações e avaliar novas teses. Por consequência, assim como destacado em trechos analisados acima, ocorreu uma revisão dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos, que produziu mudanças nos pontos de vista dos alunos com relação ao tema abordado, assim como do argumento desenvolvido para resolver o problema proposto.

A mediação do professor ao longo da discussão entre os grupos foi fundamental para conduzir o diálogo. Por intermédio desta mediação, os alunos foram questionados e novos desafios foram colocados. O professor não apresentou “explicações prontas”, mas orientou as discussões, favorecendo a criação e a continuidade de interações discursivas e incentivando a análise dos argumentos entre os alunos. Assim, proporcionou condições para a construção de um argumento, a partir de um processo dialógico pelo qual os alunos procuraram convencer seus colegas sobre as melhores explicações para o problema proposto (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; ERDURAN, 2008). Apesar da importância do professor na constituição e manutenção de interações discursivas, as ações adotadas por este não foram suficientes para que os futuros professores de Física fossem capazes de mobilizar fundamentos satisfatórios para dar respaldo à justificativa do argumento.

Os cientistas desenvolvem teorias, comunicam entre seus pares e avaliam afirmações sobre o mundo da natureza a partir da argumentação. De maneira semelhante ao que ocorre no contexto científico, a argumentação no ensino de

ciências deve ocorrer a partir da interação entre todos os sujeitos que compõem o ambiente da sala de aula (BAKER, 2009). Todavia, apesar das ações e da abordagem adotada pelo professor, alguns alunos não se envolveram na interação discursiva que culminou na construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton. Assim como Ramos, Mendonça e Mozzler (2021), entendemos que para que a argumentação se torne uma prática cultural no ensino de ciências, é importante que os alunos exerçam um “papel ativo, responsável e autônomo no ambiente de ensino” (MENDONÇA; MOZZER, 2021, p. 53).

Em nosso artigo, assim como no estudo desenvolvido por Teixeira et al. (2010b), o texto de natureza histórica parece estar relacionado a qualidade dos argumentos desenvolvidos pelos alunos. No argumento coletivo entre os grupos, os alunos descreveram as proposições I e II como satisfatórias para dar respaldo ao argumento. Em nossa inferência, a partir das anotações do diário de bordo, juntamente com os dados transcritos dos alunos, existe uma possibilidade de isso ter ocorrido por conta da característica do texto didático de natureza histórica desenvolvido para ser utilizado na intervenção, que apresenta uma reconstrução histórica dos argumentos originais de Newton no desenvolvimento do conceito de interação mútua presente na Gravitação Universal (SILVA; TEIXEIRA, 2021a).

Em outro momento, assim como analisado anteriormente, a contribuição de Hooke no desenvolvimento da Gravitação Universal de Newton gerou discussões importantes, isto é, favoreceu o processo interativo e engajou os alunos no processo argumentativo. Dessa maneira, o texto de natureza histórica parece ter exercido a função de ferramenta epistêmica ao oferecer aos futuros professores a possibilidade de fundamentar os argumentos por meio de conhecimento científico específico, além de apresentar ideias que contribuíram para a construção de processos interativos (LEITÃO, 2011; RAMOS; MENDONÇA; MOZZER, 2021). Como resultado, os alunos conseguiram, mesmo de maneira parcial, mobilizar conhecimento científico específico para apoiar o argumento coletivo entre os grupos.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O discurso da sala de aula é um aspecto fundamental na promoção da argumentação científica (MURPHY et al., 2018). No ensino de ciências

fundamentado pela argumentação, o professor é quem propõe as atividades e orienta as discussões voltadas para a aprendizagem dos conceitos ou fenômenos estudados no contexto da sala de aula. Por consequência, ele é um agente primordial para que os objetivos atribuídos ao uso didático da argumentação no ensino de ciências sejam alcançados. Diante desse ponto, com o propósito de contribuir na construção de conhecimentos de natureza teórica e prática a respeito dessa relação, investigamos o processo argumentativo que culminou na construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton, por alunos da Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana, durante atividades em pequenos grupos e entre os grupos com mediação do professor.

Nesse artigo, apresentamos o seguinte princípio de *design*: Ensino explícito da argumentação propicia melhor habilidade de construir argumentos sobre conceitos científicos na formação inicial de professores de Física. A análise dos resultados foi direcionada para responder as seguintes questões de pesquisa: (1) Como professores e alunos interagem durante a construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton?; (2) Qual a qualidade do argumento coletivo entre grupos desenvolvido pelos alunos sobre o referido tema? e (3) Quais ações do professor contribuíram para a construção desse argumento?

Em síntese, diante do processo de análise realizada no artigo, podemos inferir que:

- Na discussão entre grupos ocorreram abordagens do tipo Interativa/dialógico (I/D); Interativo/de autoridade (I/A); e Não-interativo/de autoridade (NI/A);
- Os padrões de interação foram do tipo I-R-A, I-R-P-R e I-R-F-R-F;
- O professor explorou as ideias dos alunos a respeito dos argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos e incentivou os alunos a desenvolverem melhor suas ideias, a fim de torná-las conhecidas entre todos os alunos;
- A discussão entre grupos, mediada pelo professor, gerou um argumento mediano, haja vista que os alunos não entenderam a função do fundamento e não conseguiram mobilizar conhecimento científico específico que são totalmente satisfatórios para dar respaldo à justificativa do argumento;

- A estratégia de colocar os alunos para compararem e discutirem os argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos gerou um processo de interação discursiva;

- O professor orientou as discussões, incentivou e questionou os alunos, favorecendo a criação e a continuidade de interações discursivas voltadas para a construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton.

A atividade que é objeto de análise deste artigo, faz parte de uma proposta de ensino, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação, que foi desenvolvida, aplicada e avaliada na disciplina de História da Física e Ensino I do curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana (SILVA; TEIXEIRA, 2021b). Todavia, apesar de reconhecermos, em concordância com a literatura especializada, que o uso da abordagem histórica favorece a ocorrência de controvérsias e possibilita a criação de um ambiente pelo profícuo para o desenvolvimento de processos argumentativos, sua utilização não pode ser tomada como garantia para a ocorrência da argumentação.

O texto de natureza histórica utilizado na atividade, exerceu a função de ferramenta epistêmica (RAMOS; MENDONÇA; MOZZER, 2021), isto é, forneceu elementos para que os alunos se envolvessem em interações discursivas levando em consideração as informações abordadas no texto. Ademais, a construção do argumento coletivo entre os grupos ocorreu a partir da mobilização parcial de conhecimento científico específico, ou seja, a partir da utilização das proposições utilizadas por Newton para explicar a causa da manutenção da órbita dos planetas. Em vista disso, os nossos resultados indicam a importância do uso do texto de natureza histórica como uma estratégia didática favorável ao ensino de ciências fundamentado pela argumentação.

Promover o ensino de ciências por argumentação no contexto da sala de aula requer do professor diferentes saberes. É necessário conhecer estratégias de ensino capazes de envolver os alunos em processos argumentativos, além de materiais instrucionais coincidentes ao ensino de ciências por argumentação. Nesse cenário, o professor deve ter conhecimento de natureza pedagógica para mediar o processo argumentativo no contexto da sala de aula, além de realizar ações favoráveis para

envolver os alunos nas atividades argumentativas (IBRAIM; JUSTI, 2018; MCNEILL; KNIGHT, 2013).

Discutir de maneira coletiva os argumentos desenvolvidos nos pequenos grupos foi uma estratégia didática que favoreceu a interação discursiva entre o professor e os alunos durante o processo argumentativo que produziu um argumento coletivo entre os grupos. Nessa atividade, o professor mediu e incentivou a participação dos alunos na atividade, isto é, adotou uma abordagem dialógica. Consequentemente, foi fundamental para a constituição de um ambiente argumentativo. Por consequência, os futuros professores de Física se envolveram em um discurso colaborativo, compartilharam ideias, desenvolveram uma compreensão conjunta sobre o conteúdo e construíram um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton. Portanto, as ações do professor foram essenciais para o processo de ressignificação dos argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos e serão fundamentais na determinação e escolha da prática pedagógica destes futuros professores de Física.

As ações voltadas para a promoção do ensino de ciências por argumentação, isto é, favoráveis à constituição de ambiente propício para a construção de argumentos sobre ciência, ocorrem primeiro no momento que o professor seleciona os materiais e organiza suas atividades (IBRAIM; JUSTI, 2018). As ações favoráveis adotadas pelo professor, que envolveu o planejamento da atividade analisada neste artigo, são: (1) Utilização de um texto de natureza histórica; (2) Construção coletiva de argumentos em pequenos grupos; (3) Discussão coletiva dos argumentos desenvolvidos pelos pequenos grupos; e (4) Construção coletiva de um argumento entre os grupos com mediação do professor.

Diante dos resultados descritos em nosso artigo, podemos concluir que essas características, apesar de não se configurarem como um roteiro guia que garante o desenvolvimento de processos argumentativos, são ações favoráveis para a ocorrência de interações discursivas direcionadas para a construção de argumentos sobre ciências no contexto da sala de aula. Para mais, destacamos que a estratégia didática de colocar os alunos para discutirem entre eles os argumentos desenvolvidos entre os grupos foi relevante para tornar o assunto discutível. Em concordância com Ibraim (2018), reconhecemos que essa escolha destaca que o

professor possui conhecimento de estratégias a respeito da abordagem argumentativa, especificamente em como tornar um tema discutível no ambiente de sala de aula. Esse também é um resultado importante deste artigo, haja vista que o uso da argumentação no ensino de ciências não está apenas associado a temas socialmente controversos, mas a qualquer conteúdo científico que compõe o currículo escolar. Sendo assim, em concordância com Leitão (2011), reconhecemos que qualquer tema é discutível em uma sala de aula de ciências. Entretanto, essa possibilidade está diretamente relacionada as ações adotadas pelo professor para apresentar o respectivo tema no decorrer da aula.

Embora o professor tenha desempenhado uma função importante no decorrer do processo argumentativo que produziu um argumento coletivo sobre a Gravitação universal de Newton, reconhecemos que as ações adotadas por ele não foram suficientes para garantir que os alunos fossem capazes de mobilizar conhecimento científico específico para apoiar seus argumentos. Por meio de nossa análise, concluímos que os alunos não compreenderam a função do fundamento, o que parece ter sido uma falha da proposta. Assim, identificamos uma limitação da estratégia e da própria ação do professor, que deve ser aprimorada para a realização de um novo ciclo de prototipagem. Nesse caso, a mudança deve garantir que o professor, no decorrer da intervenção didática, solicite aos alunos que explicitem o teor das informações factuais e/ou conceituais que dão suporte à justificativa de seus argumentos.

O texto de natureza histórica adotado na atividade que compõem nosso artigo, foi construído a partir da análise das leis do movimento, dos escólios, definições, corolários, regras, proposições, lemas etc., presentes no *Principia*. No referido texto, realizamos uma análise crítica de fontes primárias, a partir da inserção de comentários, figuras e demonstrações, além da adoção de nomenclaturas modernas dos trechos citados no texto (FORATO, 2009; SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018). Partimos do pressuposto, em concordância com a literatura especializada (BOSS; 2014; FORATO, 2009; SILVA; TEIXEIRA; PENIDO, 2018), que o uso de fontes primárias no ensino de ciências deve ser acompanhado por estratégias voltadas para facilitar a leitura e o entendimento dos textos. Conseqüentemente, favorecer a não propagação de uma pseudo-história. Todavia, uma limitação de nosso artigo, que deve ser aprimorado em um novo ciclo de prototipagem, foi não investigar em

qual medida o texto foi acessível para os alunos, tornando-o um material proficiente para o ensino de ciências fundamentado pela argumentação.

Não é nossa intenção responder as questões norteadoras de nosso estudo de maneira objetiva. Todavia, os resultados apresentados neste artigo contribuem com a área de ensino de ciências a partir de aspectos teóricos, metodológicos e práticos sobre a utilização da argumentação no ensino de ciências, em especial na formação inicial de professores de Física. Assim, acreditamos que um melhor entendimento a respeito da interação discursiva, assim como da relação desta com a qualidade dos argumentos elaborados no contexto da sala de aula, aproxime o uso didático da argumentação do ensino de ciências e suscite novas investigações a respeito dessa interface. Por último, esperamos aprimorar o princípio de *design* que orientou esse artigo para realizar novos ciclos de prototipagem.

REFERÊNCIAS

ABI-EL-MONA, Issam; ABD-EL-KHALICK, Fouad. **Argumentative Discourse in a High School Chemistry Classroom**. *School Science and Mathematics*, v. 106, n. 8, p. 349-361, 2006.

ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. Revisiting school scientific argumentation from the perspective of the history and philosophy of science. *In*: MATTHEWS, Michael R. (ED.) **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, 2014. p. 1443–1472.

ARCHILA, Pablo Antonio. Using History and Philosophy of Science to Promote Students' Argumentation: A Teaching–Learning Sequence Based on the Discovery of Oxygen. *Science & Education*, v. 24, p. 1201–1226, 2015.

ARCHILA, Pablo Antonio; MOLINA, Jorge; MEJÍA, Anne-Marie Truscott de. Using formative assessment to promote argumentation in a university bilingual science course. *International Journal of Science Education*, 40, p. 1669–1695, 2018.

AYDENIZ, Mehmet; ÖZDILEK, Zehra. Assessing Pre-Service Science Teachers' Understanding of Scientific Argumentation: What Do They Know About Argumentation After Four Years of College Science? *Science Education International*, v. 26, n. 2, p. 217-239, 2015.

BAKER, Michael. Argumentative interactions and the social construction of knowledge. *In*: MIRZA, N. M.; PERRETCLERMONT, A.-N. (Ed.). **Argumentation and Education: Theoretical Foundations and Practices**. Dordrecht: Springer, 2009. p. 127-144.

BAKHTIN, Mikhail. **Speech Genres & Other Late Essays**, ed. by Caryl Emerson and Michael Holquist, trans. by Vern W. McGee. Austin: University of Texas Press, 1986.

BILLIG, Michael. **Arguing and thinking**: a rhetorical approach to social psychology. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

BOSS, Sergio Luiz Bragatto. Considerações sobre a produção e o uso de material histórico em sala de aula: dificuldades de leitura e entendimento de traduções de fontes primárias. *In*: CAMARGO, Sérgio. (Org.). **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**. 1 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. p. 161-174.

BOTTCHER, Florian; MEISERT, Anke. Argumentation in Science Education: A Model-based Framework. **Science & Education**, v. 20, n. 2, p. 103-140, 2011.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica Brasília: Ministério de Educação, 2000.

_____. **Base Nacional Curricular Comum**: Educação é a Base. Brasília: Ministério de Educação, 2020.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Formação de professores de ciências**: tendências e inovações. 10 ed. São Paulo: Cortez, 2011.

CHEVALLARD, Yves. **La transposición didáctica**: del saber sabio al saber enseñado. Buenos Aires: Aique, 1991.

COHEN, Jerome Bernard. **La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas**. Tradução: Carlos Solís Santos. Madrid: Alianza Editorial, 1983. 425p.

_____. **O nascimento de uma nova Física**. Tradução: Maria Alice Gomes da Costa. Lisboa: Gradiva, 1988. 305p.

_____. O método de Newton e o estilo de Newton. *In*: COHEN, Jerome Bernard; WESTFALL, Richard S. (Eds.) **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Rio de Janeiro: Contraponto, EDUERJ, 2002.

DAWSON, Vaille Maree; VENVILLE, Grady. Teaching strategies for developing students' argumentation skills about socioscientific issues in high school genetics. **Research in Science Education**, v. 40, n.2, p. 133-148, 2010.

DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul; OSBORNE, Jonathan. Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. **Science Education**. v. 84, n. 3, p. 287-312, 2000.

DRIVER, Rosalind; ASOKO, Hilary; LEACH, John; MORTIMER, Eduardo Fleury; SCOTT, Phil. Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. **Educational Researcher**, v. 23, n. 7, p. 5-12, 1994.

DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul. Establishing the norms of a scientific argumentation in classrooms. **Paper prepared for presentation at the ESERA Conference**, 2 – 6. Rome, september, 1997.

ERDURAN, Sibel; SIMON, Shirley; OSBORNE, Jonathan. Taping into Argumentation: Developments in the Application of Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. **Science Education**, v. 88, n. 6, p. 915-933, 2004.

ERDURAN, Sibel. Methodological Foundations in the Study of Argumentations in Science Classrooms. *In*: JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar. ERDURAN, Sibel. (Ed.). **Argumentations in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research**, Springer, Dordrecht, p. 47-70, 2007.

ERDURAN, Sibel; OZDEM, Yasemin.; PARK, Jee-Young. Research trends on argumentation in science education: a journal content analysis from 1998-2014. **International Journal of STEM Education**, v. 2, n. 5, p. 1-12, 2015.

FERRAZ, Arthur Tadeu; SASSERON, Lúcia Helena. Propósitos epistêmicos para a promoção da argumentação em aulas investigativas. **Investigações em ensino de ciências**, v. 22, n. 1, p. 40-62, 2017.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. **A natureza da ciência como saber escolar**: um estudo de caso a partir da história da luz. 2009. 220f (Volume 1) Tese (Doutorado em Educação) Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FREIRE-JÚNIOR, Olival. A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências. *In*: SILVA Filho, Waldomiro J. (org.). **Epistemologia e Ensino de Ciências**. Salvador: Arcádia, 2002. p. 13-30.

GÓES, Maria Cecília Rafael; CRUZ, Maria Nazaré. Sentido, significado e conceito: notas sobre as contribuições de Lev Vigotski. **Pro-Posições**. v. 17, n.2 (50), p. 31-46, 2006.

HAMALOSMANOGLU, Mustafa; VARINLIOGLU, Serdar. The Effects of Argumentation Activities on Seventh Grade Students' Environmental Attitudes and Their Knowledge Level. **Science Education International**, v. 30, n. 3, p. 158-168, 2019.

HENDERSON, Bryan; MCNEILL, Katherine L.; GONZÁLEZ-HOWARD, Maria; CLOSE, Kevin; EVANS, Mat. Key challenges and future directions for educational research on scientific argumentation. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 55, n. 1, p. 5-18, 2018.

IBRAIM, Stefannie de Sá; JUSTI, Rosária. Teachers' knowledge in argumentation: contributions from a explicit teaching in an initial teacher education programe. **International Journal of Science Education**, v. 38, p. 1926-2025, 2016.

_____. Ações docentes favoráveis ao ensino envolvendo argumentação: estudo da prática de uma professora de química. **Investigações em Ensino de Ciências (ONLINE)**, v. 23, p. 311-330, 2018.

IBRAIM, Stefannie de Sá. **Caracterização de Ações Favoráveis ao Ensino de Ciências Envolvendo Argumentação**. 2018. Tese (Doutorado em Educação) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar. Diseño curricular: indagación y razonamento com el lenguaje de las ciências. **Ensenanza de las Ciencias**, v.16, n.2, 1998.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; RODRÍGUEZ, Anxela Bugallo; DUSCHL, Richar A. “Doing the Lesson” or “Doing Science”: Argument in High School Genetics. **Science Education**, v. 84, n. 6, p. 757-792, 2000.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; PUIG, Blanca. **Argumentacions y evaluación de explicaciones causales em ciências**: El caso de la inteligência. *Alambique*, 63, p. 11-18, 2010.

KNIPPING, Christine; REID, David A. **Argumentation Analysis for Early Career Researchers**. *Researchers in Mathematics Education*, p. 3-31, 2019.

KRUMMHEUER, Götz. Argumentation and Participation in the Primary Mathematics Classroom: Two Episodes and Related Theoretical Abductions. **Journal of Mathematical Behavior**, v. 2, n. 1, p. 60-82, 2007.

KUHN, Deanna. Science As Argument: Implications For Teaching And Learning Scientific Thinking. **Science Education**, v. 3, n. 77, p. 319-337. 1993.

LEMKE, Jay L. **Talking Science**: language, learning and values. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 2000.

LICHTMAN, Marilyn. **Qualitative research in educacion**: a user's guide. Thousand Oaks: Sage, 2010.

LUCIE, Pierre. A Cosmologia e a Física Aristotélica. *In: A Física Básica*. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

MANZ, Eve; RENGA, Ian Parker. Understanding how teachers guide evidence construction conversations. **Science Education**, v. 101, n.4, p. 584-615, 2017.

MARTINS, Marina; JUSTI, Rosália; MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. O papel da argumentação na mudança conceitual e suas relações com a epistemologia de Lakatos. **Educación Química**, v. 27, p. 3-14, 2016.

MCNEILL, Kathrine L.;KNIGHT, Amanda M. Teachers’ pedagogical content knowledge of scientific argumentation: The impact of professional development on k-12 teachers. **Science Education**, v. 97, n. 6, p. 936 – 972, 2013.

MCNEILL, Katherine L.; GONZÁLEZ-HOWARD, María; KATSH-SINGER, Rebecca; LOPER, Suzanna. Moving beyond pseudo argumentation: Teachers' enactments of an educative science curriculum focused on argumentation. **Science Education**, v. 101, n. 3, p. 426–457, 2017.

MENDONÇA, Paula Cristina; JUSTI, Rosária. Ensino-Aprendizagem de Ciências e Argumentação: Discussões e Questões Atuais. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 1, 2013.

_____. An instrument for analysing arguments produced in modeling-based chemistry lessons. **Journal of Research in Science Teaching (Print)**, v. 51, p. 192-218, 2014.

MIKESKA, Jamie N.; HOWELL, Heather. Simulations as practice-based spaces to support elementary teachers in learning how to facilitate argumentation-focused science discussions. **J Res Sci Teach.**, p. 1–44, 2020.

MORTIMER, Eduardo Fleury. Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. **International Journal of Science Education**, v. 1, p. 67-82, 1998.

MURPHY, P. Karen; GREENE, Jeffrey A.; ALLEN, E, BASZCZEWSKI, Sara; SWEARINGEN, Amanda; WEI, Liwei; BUTLER, Ana M. Fostering high school students' conceptual understanding and argumentation performance in science through quality talk discussions. **Science Education**, v. 102, p. 1239–1264, 2018.

NEWTON, Isaac. **The principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy**. Trad. COHEN, Jerome Bernard; WHITMAN, Anne Berkeley, University of California Press, 1999.

OLIVEIRA, Marta Khol. **VYGOTSKY: Aprendizado e desenvolvimento. Um processo sócio-histórico**. 5º ed. São Paulo: Scipione, 2010.

OSBORNE, Jonathan; ERDURAN, Sibel; SIMON, Shirley. Enhancing the Quality of Argumentation in School Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 41, n. 10, p. 994–1020, 2004.

PENHA, Sidnei Percia da. **Atividades Sociocientíficas em sala de aula de física: as argumentações dos estudantes**. 485f. 2012. Tese (Doutorado em Educação), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

_____. CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Proposição de uma Ferramenta Analítica para avaliar a Qualidade da Argumentação em Questões Sociocientíficas. *In: X ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 2015, Águas de Lindóia. Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, 2015.

PLOMP, Tjeerd. Educational design research: An introduction. *In: PLOMP, Tjeerd; NIEVEEN, Nienke. (Eds.). An introduction to educational design research. Enschede: SLO – Netherlands Institute for Curriculum Development. 2009. p. 9-35.*

PORTO, Klayton Santana. **A argumentação e o entendimento de estudantes surdos e ouvintes sobre cinemática**. 267f. 2018. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia

e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2018.

RAMOS, Tatiana Costa; MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso; MOZZER, Nilmara B. Interações argumentativas no ensino de química a partir de um texto histórico. **Química Nova Escola**. v. 43, nº 1, p. 51-61, 2021.

RUIZ ORTEGA, Francisco Javier; ALZATE, Oscar Eugenio Tamayo; BARGALLÓ, Conxita Márquez. Los episodios argumentativos y las preguntas, como indicadores de procesos argumentativos en ciencias. **Revista EDUCyT**, Extraordinario, p. 229-244, 2012.

_____. La argumentación en clase de ciencias, un modelo para su enseñanza. **Educação e Pesquisa**, v. 41, n. 3, p. 629-646, 2015.

RUIZ-ORTEGA, Francisco Javier; MÁRQUEZ, Conxita; BADILLO, Edelmira; RODAS RODRÍGUEZ, José Mauricio. Desarrollo de la mirada profesional sobre la argumentación científica en el aula de secundaria. **Revista Complutense de Educación**, v. 29, n. 2, p. 559-576, 2018.

SANTOS, Josebel Maia dos. **O ensino da gravitação universal de Newton através da História da Ciência e da argumentação**: desenvolvimento e análise de uma sequência didática. 239f. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2017.

SAMPSON, Victor; CLARK, Douglas B. Assessment of the Ways Students Generate Arguments in Science Education: Current Perspectives and Recommendations for Future Directions. **Science Education**, p. 447 – 472, 2008.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. especial, p. 49-67, 2015.

_____. Interações discursivas e argumentação em sala de aula: a construção de conclusões, evidências e raciocínios. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências (ONLINE)**, v. 22, p. 1-29, 2020.

SILVA, Eider de Souza; TEIXEIRA, Elder Sales; PENIDO, Maria Cristina Martins. Análise de propostas didáticas de física orientadas por abordagens históricas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 766-804, dez. 2018.

SILVA, Eider de Souza; TEIXEIRA, Elder Sales. **O papel da terceira lei de newton no desenvolvimento do conceito de interação mútua presente na teoria da gravitação universal**. 2021a. (Artigo referente ao primeiro capítulo desta tese, que ainda não foi submetido para publicação).

_____. **Análise de uma proposta de ensino voltada para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos no ensino de física**. 2021b. (Artigo referente ao segundo capítulo desta tese, que ainda não foi submetido para publicação).

_____. **O papel da argumentação no processo de aprendizagem da terceira lei e Newton.** 2021c. (Artigo referente ao terceiro capítulo desta tese, que ainda não foi submetido para publicação).

TEIXEIRA, Elder Sales; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro; FREIRE-JÚNIOR, Olival. Os Caminhos de Newton para a Gravitação Universal: Uma Revisão do Debate Historiográfico entre Cohen e Westfall. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 215-254, 2010b.

TEIXEIRA, Elder Sales; NETO, Clímério. Paulo da Silva Neto; FREIRE JR., Olival; GRECA, Ileana Maria. A Construção de uma Argumentação sobre a Síntese Newtoniana a partir de Atividades em Grupos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 61-95, 2010c.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria.; FREIRE JR., Olival. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física. *In*: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; HIDALGO, J. M. (Orgs.) **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal, Editora da UFRN, 2012b, cap. 1, p. 9-40.

_____. La Enseñanza de la Gravitación Universal de Newton Orientada por la Historia y la Filosofía de la Ciencia: Una Propuesta Didáctica con un Enfoque en la Argumentación. **ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**, v. 33, n. 1, p. 205-223, 2015.

TOULMIN, Stephen. **Os Usos do Argumento**. Trad. Reinaldo Guarany. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

VIEIRA, Rodrigo Drumond; NASCIMENTO, Sylvania Souza do. A argumentação no discurso de um professor e seus estudantes sobre um tópico de mecânica newtoniana. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 174-193, 2007.

_____. A argumentação em sala de aula de física: Limites e Possibilidades de Aplicação do Padrão de Toulmin. *In*: NASCIMENTO, Sylvania Souza do; PLANTIN, Christian. (Org.). **Argumentação e Ensino de Ciências**. Curitiba: CRV, 2009a. p. 17-37.

_____. Uma proposta de critérios marcadores para identificação de situações argumentativas em salas de aula de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, p. 81-102, abr 2009b.

VON-AUFSCHNAITER, Claudia; ERDURAN, Sibel; OSBORNE, Jonathan; SIMON, Shirley. Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. **Journal of Research in Science Teaching**, 45 (1), p. 101-131, 2008.

VYGOTSKY, Lev Semionovitch. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

WESTFALL, Richard S. **Force in Newton's Physics**. London: MacDonald; New York: American Elsevier, 1971.

_____. **A vida de Isaac Newton**. Tradução: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

ZEMPLÉN, Gabor A. History of science and argumentation in science education: joining forces?. *In*: KOKKOTAS, P. V.; MALAMITSA, K. S. e RIKAKI, A. A. (Eds.). **Adapting historical knowledge production to the classroom**. Rotterdam: Sense Publishers, 2011, p. 12.

ZOHAR, Anat; NEMET, Flora. **Fostering Student's Knowledge and Argumentation Skills Through Dilemmas in Human Genetics**. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), p. 35-62, 2002.

CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS

Em consonância com o suporte metodológico adotado nesta tese, estabelecemos os seguintes princípios de *design*: (1) Ensino explícito da argumentação propicia melhor habilidade de construir argumentos sobre conceitos científicos na formação inicial de professores de Física; e (2) O Ensino de Física pela argumentação pode favorecer a aprendizagem de conceitos científicos de estudantes de um curso de Licenciatura em Física. O objetivo da tese foi analisar como uma proposta didática, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação e pelo uso didático da argumentação, pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e para sua aprendizagem, assim como para o processo de construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton, dos estudantes de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana.

O problema de pesquisa ficou definido da seguinte forma: Como uma proposta didática, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação e pelo uso didático da argumentação, pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e para a sua aprendizagem, assim como para a construção de um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton, dos estudantes de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana?

A tese foi apresentada no formato *multipaper*. Assim, cada capítulo apresentou, de maneira independente, resumo, introdução, quadro teórico, metodologia, resultados, considerações finais e referências. Por meio dos artigos, objetivamos:

- Analisar os argumentos originais de Newton sobre o desenvolvimento da Terceira Lei e do conceito de interação mútua presente na teoria da Gravitação Universal newtoniana, visando o desenvolvimento de um material didático para ser utilizado em uma proposta de ensino;
- Analisar as contribuições de uma proposta de Ensino de Física, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação, para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton;

- Analisar as contribuições de uma sequência didática, orientada pelo uso didático da argumentação, para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton;
- Analisar o processo argumentativo que culminou na construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton, durante uma atividade em grupo mediada pelo professor.

No primeiro capítulo desenvolvemos uma reconstrução histórica dos argumentos originais utilizados por Newton no desenvolvimento da Terceira Lei e do conceito de interação mútua presente na teoria da Gravitação Universal. A reconstrução histórica, assim como outros materiais, foram utilizados na proposta didática. No referido texto, apresentamos uma exposição didática dos argumentos originais descritos por Newton para explicar o conceito de interação gravitacional entre corpos, a partir de um método matemático de simplificação do mundo físico.

O texto histórico deveria fornecer informações suficientes para que os estudantes tivessem condições de elaborar argumentos sobre a Terceira Lei e a Gravitação Universal de Newton. Como resultado, pode ter exercido um papel importante para a construção de argumentos apoiados em conhecimento científico específico. Portanto, a reconstrução histórica parece ter possibilitado que os futuros professores fossem levados a defender posições, favorecendo o debate conceitual e gerando um ambiente pelo qual se desenvolveu um processo argumentativo a respeito da Terceira Lei e Gravitação Universal de Newton.

Existem indícios que a reconstrução histórica criou um ambiente pelo qual os estudantes foram levados a defender posições a respeito da Terceira Lei de Newton e da Gravitação Universal de Newton a partir de um material histórico inteligível. Isso ocorreu na medida em que adotamos algumas estratégias para favorecer a leitura e o entendimento da reconstrução histórica, transformando-a em um material apropriado para o ensino de ciências, a saber: adoção de comentários e figuras para uma análise crítica de fontes primárias; e demonstrações das passagens citadas das referidas fontes, a partir do uso de nomenclaturas modernas.

Apesar disso, nosso estudo apresenta uma limitação, pois não investigou em que medida o texto conseguiu realizar essa função, haja vista que os alunos não foram questionados a respeito. Por isso, uma implicação importante desta tese é a

realização de estudos futuros que sejam capazes de investigar se o texto histórico, que foi desenvolvido a partir do estudo de fontes primárias e secundárias, foi um material histórico inteligível para os alunos. Por consequência, a partir de outros ciclos de prototipagem, essa reconstrução histórica poderá ser aprimorada.

Posteriormente, a partir de uma revisão de literatura, estabelecemos os princípios de *design* e as características que fundamentam a proposta de ensino (Capítulo II). Com o desenvolvimento e aplicação da proposta de ensino, analisamos os dados com o propósito de investigar como o ensino explícito da argumentação pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre a Terceira Lei de Newton e as ideias aristotélicas de movimento, em um curso de formação inicial de professores de Física.

Como resultado do processo de análise, foi possível concluir que uma proposta de ensino, caracterizada pelo ensino explícito da argumentação, pode favorecer a construção de argumentos sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton. Para isso, apesar de não ser garantia, é importante: (1) Conhecer a função dos elementos do modelo de Toulmin (2006), a partir de instrução explícita; (2) Adotar critérios marcadores para identificar os elementos dos argumentos elaborados pelos alunos; (3) Permitir que os alunos elaborem argumentos a partir de atividades em pequenos grupos e entre grupos; e (4) Adotar a leitura prévia dos textos que abordam o conteúdo pelo qual se deve argumentar.

No início da proposta o professor tratou do ensino conceitual da argumentação, isto é, realizou discussões a respeito dos elementos que compõem o modelo de argumento de Toulmin (2006). Assim, existem indícios que o nosso estudo foi capaz de destacar o potencial da argumentação dentro das dimensões conceitual e epistêmica no ensino de ciências. Isso ocorreu ao passo que foi abordado, além de incentivado ao longo da aplicação da proposta, a importância de mobilizar conhecimento científico específico para apoiar argumentos. Para mais, os alunos se envolveram em discussões sobre conhecimento científico, prática comum no desenvolvimento de leis e teorias no campo das ciências.

Conforme os resultados alcançados, é possível inferir que a proposta de ensino contribuiu para o entendimento da maioria dos elementos que compõem um argumento segundo o modelo de Toulmin (2006). A exceção se refere ao elemento

fundamento, tendo em vista que os alunos apenas citavam a lei, princípio e as proposições que dão suporte à justificativa, sem explicitarem o seu teor, isto é, parece que os alunos entenderam que era preciso apenas citar informações factuais e/ou conceituais que dão suporte à justificativa, não havendo a necessidade de deixar explícito o seu conteúdo. Reconhecemos que essa limitação ocorre em decorrência de uma falha na intervenção didática que não deixou essa distinção clara o bastante para que os alunos não fizessem tal confusão. Logo, trata-se de uma modificação a ser feita na próxima prototipagem. Apesar disso, os futuros professores de Física foram capazes de mobilizar, em algumas situações, conhecimento científico específico para apoiar seus argumentos. Esse é um resultado importante desta tese, tendo em vista que um dos pilares para que os futuros professores sejam capazes de utilizar a argumentação no ensino de ciências é que compreendam as funções exercidas pelos elementos que compõem um argumento.

Outra limitação de nosso estudo envolveu a interpretação pela qual o qualificador do modelo de argumento de Toulmin (2006) foi utilizado ao longo da aplicação da proposta de ensino. O referido elemento foi abordado apenas como um termo modal, um advérbio, utilizado para reforçar e/ou moderar a conclusão de um argumento, ao caracterizar condições pelas quais ela é válida. Entretanto, para além dessa característica, o qualificador também deve apresentar condições essenciais de validação da conclusão de um argumento (PENHA, 2012). Portanto, pretende-se em estudos futuros, que envolve um novo ciclo de prototipagem, revisar a estratégia didática e corrigir essa interpretação atribuída ao qualificador, assim como ocorreu com o fundamento.

No decorrer da aplicação da proposta de ensino, os futuros professores de Física se envolveram em um processo de reflexão a respeito dos seus próprios argumentos, em um exercício de meta argumentação. Portanto, o ensino explícito se transformou em ensino reflexivo, pois proporcionou momentos de metacognição pelos quais os futuros professores argumentaram sobre seus próprios argumentos. Esse é um resultado importante de nosso estudo, que suscita o aprimoramento do princípio de *design* da proposta de ensino, que será caracterizada pelo ensino reflexivo da argumentação, a fim de ser submetida a outros ciclos de prototipagem em trabalhos futuros. Outra importante contribuição desta tese foi adotar critérios de

análise capazes de avaliar a qualidade de argumentos sobre ciências de maneira eficiente dentro do aspecto estrutural e de conteúdo.

No terceiro artigo, o objetivo esteve voltado em investigar como uma Sequência Didática, caracterizada pelo uso didático da argumentação, pode contribuir para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton, de estudantes de um curso de Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana. Para o desenvolvimento desse capítulo, em consonância com os referenciais teóricos adotados, partimos do pressuposto que o processo de aprendizagem é resultado de um mecanismo gradual da internalização de conceitos (VYGOTSKY, 2001). Nessa perspectiva, o processo de aprendizagem de conceitos no ensino de ciências por argumentação envolve o ato de assimilação de expressões, conceitos e significados, que são aplicados e ressignificados ao serem empregados para construir argumentos em diferentes contextos (BARBOSA; BATISTA, 2018; LIMA; SILVA, 2020).

Após a análise dos dados, podemos inferir que as atividades em pequenos grupos e entre grupos com mediação do professor contribuíram para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton, haja vista que gerou situações pelas quais os alunos foram capazes de interagir e se envolverem em discussões, com disputas e conflitos. Portanto, existem indícios que a sequência didática criou condições para o processo de aprendizagem da referida lei.

A partir da análise do pré-teste, em comparação com a análise dos argumentos desenvolvidos de maneira individual e coletiva, identificamos uma mudança no nível das características corretas da Terceira Lei de Newton que foram mobilizadas por alguns alunos ao construírem argumentos que respondiam ao problema proposto. Portanto, existem indícios que a sequência didática criou condições de aprendizagem, tendo em vista que incentivou o desenvolvimento cognitivo dos alunos a partir da mobilização da Terceira Lei de Newton durante o processo de construção de argumentos.

Embora existam indícios que o problema proposto na sequência didática tenha contribuído para o desenvolvimento cognitivo dos futuros professores de Física, ele deve ser aprimorado, para que seja capaz de abordar as características da Terceira Lei de Newton que os alunos mais apresentaram limitação no pré-teste. Assim como

o problema, as questões do pré-teste também devem suscitar o aprimoramento do princípio de *design* estabelecido no terceiro artigo, haja vista que algumas dessas questões não apresentaram elementos suficientes para o processo de análise.

No último e quarto artigo, analisamos o processo argumentativo que culminou na construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton, por alunos da Licenciatura em Física de uma universidade pública baiana, durante uma atividade em grupo mediada pelo professor. A respectiva atividade compõe a proposta de ensino analisada no segundo capítulo desta tese. Como resultado da análise dessa atividade, foi possível identificar que a interação discursiva em sua maioria foi do tipo interativa/dialógico. Como consequência, os futuros professores de Física se envolveram em discussões, em que diferentes pontos de vistas foram abordados.

O processo de interação analisado gerou um argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton. Nesse argumento, alguns elementos desempenharam suas funções. Por meio da conclusão, o argumento respondeu ao problema de maneira correta, a partir do estabelecimento de justificativas e fundamentos aceitáveis dentro do contexto teórico de construção do argumento. Todavia, as justificativas foram parcialmente suficientes para estabelecer a relação entre os dados e a conclusão, e os fundamentos parcialmente satisfatórios para respaldar à justificativa, isto é, os alunos mobilizaram de maneira parcial conhecimento científico para apoiar o argumento que responde ao problema sobre a Gravitação Universal de Newton. Resultado semelhante foi encontrado no estudo desenvolvido por Teixeira et al. (2010). Isso pode indicar que há uma necessidade de aprimoramento no princípio de *design* estabelecido nesta tese com o objetivo de tentar dar conta de resolver isso: mesmo com uma estratégia didática argumentativa, os alunos têm dificuldade de mobilizar conhecimentos científicos para fundamentar seus argumentos.

O professor adotou ações importantes que contribuíram para a construção do argumento coletivo sobre a Gravitação Universal de Newton: (1) promover a discussão e comparação dos argumentos desenvolvidos em pequenos grupos; e (2) orientar as discussões, contribuindo para a criação e a continuidade de interações discursivas. Além disso, existem indícios que o texto de natureza histórica ofereceu

aos futuros professores de Física a oportunidade de fundamentar os argumentos por meio de conhecimento científico específico.

Em síntese, os resultados apontam que:

- O texto de natureza histórica possibilitou a criação um ambiente pelo qual os futuros professores de Física foram levados a defender posições a respeito da Terceira Lei e da Gravitação Universal de Newton;
- A proposta de ensino contribuiu para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos sobre o movimento de corpos segundo Aristóteles e a Terceira Lei de Newton;
- Os futuros professores de Física entenderam as funções dos elementos do modelo de argumento de Toulmin, com exceção do fundamento;
- A Sequência Didática criou condições para o processo de aprendizagem da Terceira Lei de Newton;
- Foi possível identificar uma mudança no nível de características mobilizadas de maneira correta da Terceira Lei de Newton;
- Os futuros professores de Física se envolveram em discussões, em que diferentes pontos de vistas foram abordados, durante o processo argumentativo voltado para a construção coletiva de um argumento sobre a Gravitação Universal de Newton;
- Os alunos conseguiram mobilizar, em algumas situações, conhecimento científico específico que são satisfatórios para dar respaldo à justificativa do argumento;
- O professor orientou as discussões, favorecendo a criação e a continuidade de interações discursivas. Assim, realizou ações que possibilitaram a construção de um argumento a partir de um processo dialógico.

A presente pesquisa realizou um ciclo de prototipagem com avaliação formativa para o aperfeiçoamento da proposta de ensino, a partir da análise sobre potencialidades e limites dos princípios de *design* investigados. Diante disso, os resultados práticos da intervenção se convertem em recomendações e instruções para o aprimoramento dos princípios e da proposta de ensino, que serão investigados a partir da realização de novos ciclos de prototipagem. Assim, tanto as

características da proposta de ensino, como as estratégias didáticas e os materiais adotados ao longo desta tese, devem passar por um processo de refinamento.

Em síntese, o refinamento da proposta de ensino deve contemplar os seguintes pontos:

- A proposta de ensino deve ser caracterizada como sendo um ensino reflexivo da argumentação;
- O qualificador deve contemplar um termo modal, um advérbio, utilizado para moderar e/ou reforçar a conclusão, assim como as condições necessárias para a validade das conclusões;
- O fundamento deve deixar explícito as informações factuais e/ou conceituais que dão suporte à justificativa, isto é, o teor da lei, proposição, princípio etc, que é satisfatório para dar respaldo à justificativa;
- O problema utilizado na sequência didática deve destacar todas as características da Terceira Lei de Newton, principalmente aquelas que os estudantes mais apresentaram limitação no pré-teste;
- As questões do pré-teste devem apresentar elementos suficientes para a análise da aprendizagem por intermédio da argumentação;
- As ações do professor devem possibilitar que os futuros professores de Física explicitem o teor das informações factuais e/ou conceituais que dão suporte à justificativa de seus argumentos;
- Investigar em qual medida se o texto de natureza histórica foi acessível para os alunos, tornando-o um material didático proficiente para o ensino de ciências fundamentado pela argumentação.

Como consequência do ciclo de prototipagem realizado nesta tese, almejo continuar refletindo e investigando contribuições da argumentação para o ensino de ciências, em especial no Ensino de Física. Assim, a partir de estudos futuros, possibilitar que a argumentação possa ser inserida no Ensino de Física, em diferentes contextos de ensino, abordando todo e qualquer conteúdo científico que compõe o currículo escolar, como uma técnica de discurso adequada ao gênero discursivo das ciências. Isso se justifica na medida que a argumentação, enquanto um dos pilares do ensino de ciências no Brasil (BRASIL, 2020), parece ser uma estratégia, entre tantas outras, que pode auxiliar a análise de informações científicas

amplamente divulgadas durante o período pandêmico que se instaurou em nossa sociedade.

Uma implicação relevante do estudo desenvolvido nesta tese é meu anseio de investigar, no âmbito da formação inicial de professores de Física, como o futuro docente “translada seus conhecimentos sobre argumentação para o contexto de ensino” (IBRAIM, 2018, p. 189) durante o estágio supervisionado. Nesse cenário, em conformidade com Nunes (2001) e Pimenta (2012), reconhecemos o estágio como uma atividade teórico e prático, que se interligam e formam uma unidade com grande potencial de possibilitar que o estudante possa, ainda durante o curso de formação, explorar os diferentes saberes abordados nas diferentes disciplinas do referido curso.

O estágio supervisionado, seja ele de observação, coparticipação e/ou regência, oportuniza ao futuro professor uma reflexão sobre a docência, auxiliando-o a compreender algumas implicações do trabalho docente dentro do contexto da sala de aula (BACCON; ARRUDA, 2010). Logo, o estágio é fundamental para a formação do futuro professor, tendo em consideração, em alguns casos, que é o primeiro contato do estudante de licenciatura com a sala de aula (CONCEIÇÃO et al., 2019). A partir dessa perspectiva, almejo realizar estudos futuros com o intuito de contribuir com a área de pesquisa ao realizar estudos que envolva diferentes perspectivas a respeito da argumentação em um curso de formação inicial de professores, que investigue em que medida os estudantes do curso de licenciatura em Física transladam os saberes teóricos e práticos, vivenciados nas diferentes disciplinas na graduação, em estratégias de ensino e ações argumentativas durante o estágio supervisionado.

Por fim, estando certo dos desafios de cunho pessoal e acadêmico que envolveram o desenvolvimento desta tese, tenho total convicção que o processo de doutoramento contribuiu para minha formação inicial enquanto pesquisador. Ademais, o respectivo processo não representa o fim de minhas inquietações sobre o tema, mas o estabelecimento de novas diretrizes de pesquisa que pretendo continuar investigando em minha trajetória enquanto docente do Centro de Formação de Professores, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

REFERÊNCIAS COMPLETAS

ABI-EL-MONA, Issam; ABD-EL-KHALICK, Fouad. Argumentative Discourse in a High School Chemistry Classroom. **School Science and Mathematics**, v. 106, n. 8, p. 349-361, 2006.

ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. Revisiting school scientific argumentation from the perspective of the history and philosophy of science. *In*: MATTHEWS, Michael R. (ED.) **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, 2014. p. 1443–1472.

ARCHILA, Pablo Antonio. Using History and Philosophy of Science to Promote Students' Argumentation: A Teaching–Learning Sequence Based on the Discovery of Oxygen. **Science & Education**, v. 24, p. 1201–1226, 2015.

ARCHILA, Pablo Antonio; MOLINA, Jorge; MEJÍA, Anne-Marie Truscott de. Using formative assessment to promote argumentation in a university bilingual science course. **International Journal of Science Education**, 40, p. 1669–1695, 2018.

AYDENIZ, Mehmet; ÖZDILEK, Zehra. Assessing Pre-Service Science Teachers' Understanding of Scientific Argumentation: What Do They Know About Argumentation After Four Years of College Science? **Science Education International**, v. 26, n. 2, p. 217-239, 2015.

BACCON, Ana Lúcia Pereira; ARRUDA, Sergio de Mello. Os saberes docentes na formação inicial do professor de Física: elaborando sentidos para o estágio supervisionado. **Ciência & Educação**, v. 16, n. 3, p. 507-524, 2010.

BAKER, Michael. Argumentative interactions and the social construction of knowledge. *In*: MIRZA, N. M.; PERRETCLERMONT, A.-N. (Ed.). **Argumentation and Education: Theoretical Foundations and Practices**. Dordrecht: Springer, 2009. p. 127-144.

BAKHTIN, Mikhail. **Speech Genres & Other Late Essays**, ed. by Caryl Emerson and Michael Holquist, trans. by Vern W. McGee. Austin: University of Texas Press, 1986.

BARBOSA, Jonei Cerqueira; OLIVEIRA, Andreia Maria Pereira. Por que a Pesquisa de Desenvolvimento na Educação Matemática?. **Perspectivas da Educação Matemática**, UFMS, v. 8, n. temático, p. 526-546. 2015.

BARBOSA, Roberto Gonçalves; BATISTA, Irinéa de Lourdes. Vygostsky: um referencial para analisar a aprendizagem e a criatividade no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 1, p. 49-67. Abril, 2018.

BERLAND, Leema K.; REISER, Brian J. Classroom Communities' Adaptations of the Practice of Scientific Argumentation. **Science Education**, v. 95, n. 2, p. 191-216, 2010.

BILLIG, Michael. **Arguing and thinking**: a rhetorical approach to social psychology. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

BISPO, Wilson Fábio de Oliveira. **Desenvolvimento do conceito de luz por estudantes do ensino médio**. 350f. 2019. Tese. (Doutorado em Ensino Filosofia e História das Ciências), Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências), Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2019.

BOAS, Jamille Vilas. **Professores de matemática e materiais curriculares educativos**: participação e oportunidades de aprendizagens. 109f. 2015. Tese (Doutorado em Ensino Filosofia e História das Ciências), Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências), Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2015.

BOSS, Sergio Luiz Bragatto. Considerações sobre a produção e o uso de material histórico em sala de aula: dificuldades de leitura e entendimento de traduções de fontes primárias. *In*: CAMARGO, Sérgio. (Org.). **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**. 1 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. p. 161-174.

BOTTCHER, Florian; MEISERT, Anke. Argumentation in Science Education: A Model-based Framework. **Science & Education**, v. 20, n. 2, p. 103-140, 2011.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica Brasília: Ministério de Educação, 2000.

_____. **Base Nacional Curricular Comum**: Educação é a Base. Brasília: Ministério de Educação, 2020.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Formação de professores de ciências**: tendências e inovações. 10 ed. São Paulo: Cortez, 2011.

CATANI, Denice Barbara; BUENO, Belmira Amélia de Barros Oliveira; CHAMLIAN, Helena Coharik; SOUSA, Cynthia Pereira de. Histórias de vida e autobiografias na formação de professores e profissão docente (Brasil, 1985-2003). **Educação e Pesquisa (USP)**, v. 32, p. 385-410, 2006.

CHEVALLARD, Yves. **La transposición didáctica**: del saber sabio al saber enseñado. Buenos Aires: Aique, 1991.

CHIBENI, Silvio Seno. As posições de Newton, Locke e Berkeley sobre a natureza da gravitação. *Scientiae Studia (USP)*, v. 11, p. 33-55, 2013.

COHEN, Jerome Bernard. **La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas**. Tradução: Carlos Solís Santos. Madrid: Alianza Editorial, 1983. 425p.

_____. **O nascimento de uma nova Física**. Tradução: Maria Alice Gomes da Costa. Lisboa: Gradiva, 1988. 305p.

_____. O método de Newton e o estilo de Newton. *In*: COHEN, Jerome Bernard; WESTFALL, Richard S. (Eds.) **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Rio de Janeiro: Contraponto, EDUERJ, 2002.

CONCEIÇÃO, Regiane dos Santos da; SILVA, Eider de Souza; PATRICIA, Diana. **RELAÇÃO PROFESSOR REGENTE E ESTAGIÁRIO: UMA VIA DE MÃO DUPLA**. *In*: **XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)**. Salvador, 2019.

CROSS, Dionne; HICKEY, Daniel T.; TAASOBSHIRAZI, Gita; HENDRICKS, Sean;. **Argumentation: A Strategy for Improving Achievement and Revealing Scientific Identities**. **International Journal of Science Education**, v. 30, n. 6, 18 May, p. 837–861, 2008.

CUSHING, James T. **Kepler's Laws and Universal Gravitation in Newton's Principia**. **American Journal of Physics**, v. 50, n. 7, p. 617-628, 1982.

DANIEL, Gilmar Praxedes. **História da Ciência em um Curso de Licenciatura em Física: a Gravitação Newtoniana e a Gravitação Einsteiniana como Exemplos**. 404f. 2011. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011.

DAWSON, Vaile Maree; VENVILLE, Grady. **Teaching strategies for developing students' argumentation skills about socioscientific issues in high school genetics**. **Research in Science Education**, v. 40, n.2, p. 133-148, 2010.

DELIZOICOV, Demetrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências - Fundamentos e Métodos**. 3a. ed. São Paulo: Editora Cortez, v.1, 2009. v. 1, p. 115-154.

DELORY-MOMBERGER, Christine. **Biografia e Educação: Figuras do indivíduo projeto**. Tradução de Maria da Conceição Passeggi, João Gomes Neto, Luis Passeggi, São Paulo: Paulus; Natal, RN: EDUFRRN, 2008.

DENSMORE, Dana. **Newton's Principia: the central argument**. Santa Fe, NM: Green Lion Press, 1995. 425 p.

DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul; OSBORNE, Jonathan. **Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms**. **Science Education**. v. 84, n. 3, p. 287-312, 2000.

DRIVER, Rosalind; ASOKO, Hilary; LEACH, John; MORTIMER, Eduardo Fleury; SCOTT, Phil. **Constructing Scientific Knowledge in the Classroom**. **Educational Researcher**, v. 23, n. 7, p. 5-12, 1994.

DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul. **Establishing the norms of a scientific argumentation in classrooms**. **Paper prepared for presentation at the ESERA Conference**, 2 – 6. Rome, september, 1997.

DUCK, Nell K; BECK, Sarah W. **Education should consider alternative formats for the dissertation**. **Educational Research**, Washington, v. 28, n. 3, p. 31-36, 1999.

DUSCHL, Richard A.; OSBORNE, Jonathan. Supporting and promoting argumentation in science education. **Studies in Science Education**, v. 38, n. 1, p. 39-72, 2002.

ERDURAN, Sibel; SIMON, Shirley; OSBORNE, Jonathan. Taping into Argumentation: Developments in the Application of Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. **Science Education**, v. 88, n. 6, p. 915-933, 2004.

ERDURAN, Sibel. Methodological Foundations in the Study of Argumentations in Science Classrooms. *In*: JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar. ERDURAN, Sibel. (Ed.). **Argumentations in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research**, Springer, Dordrecht, p. 47-70, 2007.

ERDURAN, Sibel; OZDEM, Yasemin.; PARK, Jee-Young. Research trends on argumentation in science education: a journal content analysis from 1998-2014. **International Journal of STEM Education**, v. 2, n. 5, p. 1-12, 2015.

FERRAZ, Arthur Tadeu; SASSERON, Lúcia Helena. Propósitos epistêmicos para a promoção da argumentação em aulas investigativas. **Investigações em ensino de ciências**, v. 22, n. 1, p. 40-62, 2017.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. **A natureza da ciência como saber escolar**: um estudo de caso a partir da história da luz. 2009. 220f (Volume 1) Tese (Doutorado em Educação) Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FREIRE-JÚNIOR, Olival. A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências. *In*: SILVA Filho, Waldomiro J. (org.). **Epistemologia e Ensino de Ciências**. Salvador: Arcádia, 2002. p. 13-30.

GALILEI, Galileu. **Dois novos ciências**. Tradução: MARICONDA, Pablo Rubén. São Paulo: Nova Stella, 1988 [1638].

GIL-PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernández; ALÍS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 125 - 154, 2001.

GÓES, Maria Cecília Rafael; CRUZ, Maria Nazaré. Sentido, significado e conceito: notas sobre as contribuições de Lev Vigotski. **Pro-Posições**. v. 17, n.2 (50), p. 31-46, 2006.

GUERRA, Andreia. A identidade e o diálogo como possibilidade de superação da controvérsia entre educadores e historiadores da ciência. *In*: Camargo, Sergio; GENOVESE, Luiz Gonzaga; DRUMMOND, Juliana Hidalgo; QUEIROZ, Glória Regina; NICOT, Yuri; NASCIMENTO, Sylvania Sousa do. (Orgs.). **Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física**. 1ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014. p. 129-142.

HAMALOSMANOGLU, Mustafa; VARINLIOGLU, Serdar. The Effects of Argumentation Activities on Seventh Grade Students' Environmental Attitudes and

Their Knowledge Level. **Science Education International**, v. 30, n. 3, p. 158-168, 2019.

HENDERSON, Bryan; MCNEILL, Katherine L.; GONZÁLEZ-HOWARD, Maria; CLOSE, Kevin; EVANS, Mat. Key challenges and future directions for educational research on scientific argumentation. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 55, n. 1, p. 5-18, 2018.

HENRY, Jonh. **Isaac Newton y el problema de la acción a distancia**. *Estud.filos*, nº 35, Universidad de Antioquia, p. 189-226, 2007.

HÖTTECHE, Dietmar; SILVA, Cibelle Celestino. Why implementing history and philosophy in school Science education is a challenge: an analysis of obstacles. **Science & Education**, v. 20, p. 293–316, 2011.

IBRAIM, Stefannie de Sá. **Análise das Influências do Ensino Explícito de Argumentação nos Conhecimentos Docentes sobre Argumentação de Professores de Química em Formação Inicial**. 253f. 2015. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

IBRAIM, Stefannie de Sá; JUSTI, Rosária. Teachers' knowledge in argumentation: contributions from a explicit teaching in an initial teacher education programe. **International Journal of Science Education**, v. 38, p. 1926-2025, 2016.

_____. Influências de um ensino explícito de argumentação no desenvolvimento dos conhecimentos docentes de licenciandos em Química. **Ciênc. Educ. Bauru**, v. 23, n. 4, p. 995-1015, 2017.

_____. Ações docentes favoráveis ao ensino envolvendo argumentação: estudo da prática de uma professora de química. **Investigações em Ensino de Ciências (ONLINE)**, v. 23, p. 311-330, 2018.

IBRAIM, Stefannie de Sá. **Caracterização de Ações Favoráveis ao Ensino de Ciências Envolvendo Argumentação**. 2018. Tese (Doutorado em Educação) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

JESUS, Rita de Cássia Dias Pereira de. **De como tornar-se o que se é: narrativas implicadas sobre a questão étnico-racial, a formação docente e as políticas para equidade**. 2007. 214 f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar. Diseño curricular: indagación y razonamento com el lenguaje de las ciências. **Ensenanza de las Ciencias**, v.16, n.2, 1998.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; RODRÍGUEZ, Anxela Bugallo; DUSCHL, Richar A. "Doing the Lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics. **Science Education**, v. 84, n. 6, p. 757-792, 2000.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; PUIG, Blanca. **Argumentacions y evaluación de explicaciones causales em ciências: El caso de la inteligència**. *Alambique*, 63, p. 11-18, 2010.

KNIPPING, Christine; REID, David A. **Argumentation Analysis for Early Career Researchers**. *Researchers in Mathematics Education*, p. 3-31, 2019.

KOYRE, Alexandre. O significado da síntese newtoniana. *In: COHEN, Jerome Bernard; WESTFALL, Richard S. (Eds.). Newton: textos, antecedentes, comentários*. Trad. Por Vera Ribeiro: Rio de Janeiro: EdUERJ/Contraponto, 2002. p. 84-100.

KRUMMHEUER, Götz. Argumentation and Participation in the Primary Mathematics Classroom: Two Episodes and Related Theoretical Abductions. **Journal of Mathematical Behavior**, v. 2, n. 1, p. 60-82, 2007.

KUHN, Deanna. Science As Argument: Implications For Teaching And Learning Scientific Thinking. **Science Education**, v. 3, n. 77, p. 319-337. 1993.

_____. Teaching and learning science as argument. **Science Education**, 94, p. 810-824, 2010.

LEITÃO, Selma. O lugar da argumentação na construção do conhecimento em sala de aula. *In: LEITÃO, Selma; DAMIANOVIC, Maria Cristina (Orgs.) Argumentação na Escola: o conhecimento em construção*. Campinas, SP: Pontes Editores, 2011, cap. 1, p. 13-46.

LEMKE, Jay L. **Talking Science: language, learning and values**. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 2000.

LICHTMAN, Marilyn. **Qualitative research in education: a user's guide**. Thousand Oaks: Sage, 2010.

LIMA, Cintia Maria Carneiro Franco; SILVA, JOSÉ LUIS de Paula Barros. Contribuições do Desenvolvimento Histórico-Cultural dos Conceitos de Ácido e de Base para o Ensino de Química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 20, p. 157-191, 2020.

LUCIE, Pierre. A Cosmologia e a Física Aristotélica. *In: A Física Básica*. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

MACÊDO, Ricardo Silva de. **O Ensino de Ciências por Investigação e a Prática Pedagógica de Professores Licenciados no IF-UFBA**. 361f. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2015.

MANZ, Eve; RENGA, Ian Parker. Understanding how teachers guide evidence construction conversations. **Science Education**, v. 101, n.4, p. 584-615, 2017.

MARTINS, André Ferrer Pinto. História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis*, v. 24, n. 1, p. 112-131, abr. 2007.

MARTINS, Marina; JUSTI, Rosália; MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. O papel da argumentação na mudança conceitual e suas relações com a epistemologia de Lakatos. **Educación Química**, v. 27, p. 3-14, 2016.

MARTINS, Roberto de Andrade. A História das Ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle Celestino. (Org). **Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. Introdução.

MATTHEWS, Michael R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.12, n.3, p.164-214, dez. 1995.

_____. **International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching**. New York - London: Springer, v. I, II e III, 2014.

MCNEILL, Kathrine L.;KNIGHT, Amanda M. Teachers' pedagogical content knowledge of scientific argumentation: The impact of professional development on k-12 teachers. **Science Education**, v. 97, n. 6, p. 936 – 972, 2013.

MCNEILL, Katherine L.; GONZÁLEZ-HOWARD, María; KATSH-SINGER, Rebecca; LOPER, Suzanna. Moving beyond pseudo argumentation: Teachers' enactments of an educative science curriculum focused on argumentation. **Science Education**, v. 101, n. 3, p. 426–457, 2017.

MENDONÇA, Paula Cristina; JUSTI, Rosária. Ensino-Aprendizagem de Ciências e Argumentação: Discussões e Questões Atuais. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 1, 2013.

_____. An instrument for analysing arguments produced in modeling-based chemistry lessons. **Journal of Research in Science Teaching (Print)**, v. 51, p. 192-218, 2014.

MIKESKA, Jamie N.; HOWELL, Heather. **Simulations as practice-based spaces to support elementary teachers in learning how to facilitate argumentation-focused science discussions**. J Res Sci Teach., p. 1–44, 2020.

MORTIMER, Eduardo Fleury. Multivoicedness and univocality in classroom discourse: an example from theory of matter. **International Journal of Science Education**, v. 1, p. 67-82, 1998.

MUNFORD, Danusa; TELES, Ana Paula Souto Silva. Argumentação e a construção de oportunidades de aprendizagem em aulas de ciências. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências (ONLINE)**, v. 17, p. 161-185, 2015.

MURPHY, P. Karen; GREENE, Jeffrey A.; ALLEN, E, BASZCZEWSKI, Sara; SWEARINGEN, Amanda; WEI, Liwei; BUTLER, Ana M. Fostering high school students' conceptual understanding and argumentation performance in science through quality talk discussions. **Science Education**, v. 102, p. 1239–1264, 2018.

NAJAMI, Naim; HUGERAT, Muhamad; KABYA, Fattma; HOFSTEIN, Avi. The Laboratory as a Vehicle for Enhancing Argumentation Among Pre-Service Science Teachers. **Science & Education**, v. 29, p. 377–393, 2020.

NEWTON, Isaac. **The principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy**. Trad. COHEN, Jerome Bernard; WHITMAN, Anne Berkeley, University of California Press, 1999.

_____. Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural. *In*: HAWKING, Stephen William. **Os Gênios da Ciência: sobre os Ombros de Gigantes**. (Org.) Tradução: Sergio M. Dutra. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. p. 441-638.

_____. **Principia**: princípios matemáticos de filosofia natural - Livro II e III e O sistema do mundo. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

NUNES, Célia Maria Fernandes. Saberes docentes e formação de professores: um breve panorama da pesquisa brasileira. **Educação & Sociedade**, ano XXII, n. 74, abril, 2001.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica 1**. Mecânica. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. 519p.

OLIVEIRA, Marta Khol. **VYGOTSKY**: Aprendizado e desenvolvimento. Um processo sócio-histórico. 5° ed. São Paulo: Scipione, 2010.

OSBORNE, Jonathan; ERDURAN, Sibel; SIMON, Shirley. Enhancing the Quality of Argumentation in School Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 41, n. 10, p. 994–1020, 2004.

OSBORNE, Jonathan. Arguing to learn in science: The role of collaborative and critical discourse. **Science**, v. 328, p. 463–466, 2010.

OZDEM, Yasemin; ERTEPINAR, Hamide; CAKIROGLU, Jale; ERDURAN, Sibel. The nature of pre-service science teachers' argumentation in inquiry-oriented laboratory context. **International Journal of Science Education**, London, v. 35, n. 15, p. 2559-2586, 2013.

PAIVA, Ayane de Souza. **Princípios de design para o ensino de biologia celular: pensamento crítico e ação sociopolítica inspirados no caso de Henrietta Lacks**. 392f. 2019. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências), Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2019.

PEDUZZI; Luiz Orlando de Quadro. Sobre a utilização didática da História da Ciência. *In*: PIETROCOLA, Mauricio (Org.) **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

_____. A Física Aristotélica. *In*: **Força e movimento: de Thales a Galileu**. Coleção Evolução dos Conceitos da Física. Publicação interna. Florianópolis, SC: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015

(revisado em julho de 2019). 197 p, cap. 2, p. 39-50. Disponível em: <www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br>. Acesso em: 20 mai. 2020.

PENHA, Sidnei Percia da. **Atividades Sociocientíficas em sala de aula de física: as argumentações dos estudantes**. 485f. 2012. Tese (Doutorado em Educação), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

_____. CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Proposição de uma Ferramenta Analítica para avaliar a Qualidade da Argumentação em Questões Sociocientíficas. *In: X ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 2015, Águas de Lindóia. Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, 2015.

PERELMAN, Chaim. **O império retórico: Retórica e argumentação**. Porto: Edições ASA, 1993.

PINO, Angel L. B. Processos de significação e constituição do sujeito. **Temas em Psicologia**. v.1, n. 1, p. 17-24, 1993.

PIMENTA, Selma Garrido; LIMA, Maria Socorro Lucena. **Estágio e Docência**. São Paulo: Cortez, 2012.

PLOMP, Tjeerd. Educational design research: An introduction. *In: PLOMP, Tjeerd; NIEVEEN, Nienke. (Eds.). An introduction to educational design research. Enschede: SLO – Netherlands Institute for Curriculum Development*. 2009. p. 9-35.

_____. Pesquisa-aplicação em educação: uma introdução. *In: PLOMP, Tjeerd. NIEVEEN, Nienke. Pesquisa-aplicação em educação: uma introdução*. Tradução: MATTA, Alfredo Eurico Rodrigues. NATO, Emanuel R. S. Editora Artesanato Educacional, ABED, 1ª Edição, São Paulo, 2018. 362p.

PORTO, Klayton Santana. **A argumentação e o entendimento de estudantes surdos e ouvintes sobre cinemática**. 267f. 2018. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2018.

RAMOS, Tatiana Costa; MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso; MOZZER, Nilmara B. Interações argumentativas no ensino de química a partir de um texto histórico. **Química Nova Escola**. v. 43, n° 1, p. 51-61, 2021.

REGO, Teresa Cristina. **Vygostky: Uma perspectiva histórico-cultural da educação**. Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes, 1995.

ROSA, Katemari. **A inserção de história da ciência na formação de professores de física: as experiências da UFBA/UFGRS**. 200f. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2006.

RUIZ-ORTEGA, Francisco Javier; ALZATE, Oscar Eugenio Tamayo; BARGALLÓ, Conxita Márquez. Los episodios argumentativos y las preguntas, como indicadores de procesos argumentativos en ciencias. **Revista EDUCyT, Extraordinario**, p. 229-244, 2012.

_____. La argumentación en clase de ciencias, un modelo para su enseñanza. **Educação e Pesquisa**, v. 41, n. 3, p. 629-646, 2015.

RUIZ-ORTEGA, Francisco Javier; MÁRQUEZ, Conxita; BADILLO, Edelmira; RODAS RODRÍGUEZ, José Mauricio. Desarrollo de la mirada profesional sobre la argumentación científica en el aula de secundaria. **Revista Complutense de Educación**, v. 29, n. 2, p. 559-576, 2018.

RUPPENTHAL, Raquel; SCHETINGER, Maria Rosa Chitolina. A argumentação e a capacidade de resolver problemas em estudantes do ensino fundamental. **ALEXANDRIA (UFSC)**, v. 10, p. 35-52, 2017.

SÁ, Luciana Passos; QUEIROZ, Salete Linhares. Promovendo a Argumentação no Ensino Superior de Química. **Quim. Nova**, v. 30, n. 8, 2035-2042. 2007.

SAMPSON, Victor; CLARK, Douglas B. Assessment of the Ways Students Generate Arguments in Science Education: Current Perspectives and Recommendations for Future Directions. **Science Education**, p. 447 – 472, 2008.

SANTOS, Josebel Maia dos. **O ensino da gravitação universal de Newton através da História da Ciência e da argumentação**: desenvolvimento e análise de uma sequência didática. 239f. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2017.

SAPUNARU, Raquel Anna. A construção lógica do “estilo newtoniano”. **Ciência e Educação (UNESP)**, v. 14, p. 55-66, 2008.

SARAMAGO, José. **O conto da ilha desconhecida**. S.I.: Editora Schwarcz, LTDA, Lisboa, 1998.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. especial, p. 49-67, 2015.

_____. Interações discursivas e argumentação em sala de aula: a construção de conclusões, evidências e raciocínios. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências (ONLINE)**, v. 22, p. 1-29, 2020.

SCHWARZ, Baruch B.; NEUMAN, Yair; GIL, Julia; ILYA, Merav. Construction of collective and individual knowledge in argumentative activity. **Journal of the Learning Sciences**, v. 12, n. 2, p. 219 – 256, 2003.

SERWAY, Raymond A; JEWETT, John W. **Princípios de física**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 4 v, 2017.

SMITH, George E. The methodology of the *Principia*. In: COHEN, Jerome Bernard; SMITH, George E. (Eds.). **The Cambridge Companion to Newton**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. p. 138-173.

SILVA, Eider de Souza. **Uma análise das propostas didáticas para o ensino de Física orientadas por abordagens histórico-filosóficas**. 142f. 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2014.

SILVA, Eider de Souza; TEIXEIRA, Elder Sales; PENIDO, Maria Cristina Martins. Análise de propostas didáticas de física orientadas por abordagens históricas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 766-804, dez. 2018.

SILVA, Fernando César. Linguagem e o processo de ensino e aprendizagem em Química: leituras contemporâneas de Vigotski apoiadas por Tomasello. **REVISTA ELETRÔNICA DE EDUCAÇÃO (SÃO CARLOS)**, v. 14, p. 1-14, 2020.

SILVA, Eider de Souza; TEIXEIRA, Elder Sales. **O papel da terceira lei de Newton no desenvolvimento do conceito de interação mútua presente na teoria da gravitação universal**. 2021a. (Artigo referente ao primeiro capítulo desta tese, que ainda não foi submetido para publicação).

_____. **Análise de uma proposta de ensino voltada para o desenvolvimento da habilidade de construir argumentos no ensino de física**. 2021b. (Artigo referente ao segundo capítulo desta tese, que ainda não foi submetido para publicação).

_____. **O papel da argumentação no processo de aprendizagem da terceira lei e Newton**. 2021c. (Artigo referente ao terceiro capítulo desta tese, que ainda não foi submetido para publicação).

SIMON, Shirley; ERDURAN, Sibel; OSBORNE, Jonathan. Learning To Teach Argumentation: Research And Development In The Science Classroom. **International Journal of Science Education**, v. 28, p. 235-260, 2006.

SOUZA, Elizeu Clementino de. **Memória e formação de professores**. Edição online. (Auto)biografia, histórias de vida e práticas de formação. Salvador. EDUFBA, 2007.

SUTTON, Stephen. Stage theories of health behaviour. In: Conner, Mark; NORMAN, Paul (Org.). **Predicting Health Behaviour: Research and Practice with Social Cognition Models**, 2nd edn, 2005. p. 223– 275.

TEIXEIRA, Elder Sales. **Argumentação e abordagem contextual no ensino de física**. 148f. 2010. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2010a.

TEIXEIRA, Elder Sales; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro; FREIRE-JÚNIOR, Olival. Os Caminhos de Newton para a Gravitação Universal: Uma Revisão do

Debate Historiográfico entre Cohen e Westfall. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 215-254, 2010b.

TEIXEIRA, Elder Sales; NETO, Climério. Paulo da Silva Neto; FREIRE JR., Olival; GRECA, Ileana Maria. A Construção de uma Argumentação sobre a Síntese Newtoniana a partir de Atividades em Grupos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 61-95, 2010c.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria; FREIRE JR, Olival. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. **Science & Education**, v. 21, n. 6, p. 771–796, 2012a.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria.; FREIRE JR., Olival. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física. *In*: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; HIDALGO, J. M. (Orgs.) **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal, Editora da UFRN, 2012b, cap. 1, p. 9-40.

_____. La Enseñanza de la Gravitación Universal de Newton Orientada por la Historia y la Filosofía de la Ciencia: Una Propuesta Didáctica con un Enfoque en la Argumentación. **ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**, v. 33, n. 1, p. 205-223, 2015.

TOULMIN, Stephen. **Os Usos do Argumento**. Trad. Reinaldo Guarany. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

VIEIRA, Rodrigo Drumond; NASCIMENTO, Sylvania Souza do. A argumentação no discurso de um professor e seus estudantes sobre um tópico de mecânica newtoniana. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 174-193, 2007.

_____. A argumentação em sala de aula de física: Limites e Possibilidades de Aplicação do Padrão de Toulmin. *In*: NASCIMENTO, Sylvania Souza do; PLANTIN, Christian. (Org.). **Argumentação e Ensino de Ciências**. Curitiba: CRV, 2009a. p. 17-37.

_____. Uma proposta de critérios marcadores para identificação de situações argumentativas em salas de aula de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, p. 81-102, abr 2009b.

VON-AUFSCHNAITER, Claudia; ERDURAN, Sibel; OSBORNE, Jonathan; SIMON, Shirley. Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. **Journal of Research in Science Teaching**, 45 (1), p. 101-131, 2008.

VYGOTSKY, Lev Semionovitch. **Pensamento e Linguagem**. Tradução de Jefferson L. Camargo. São Paulo: Martins Fontes, 1987.

_____. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001. p. 486.

_____. **A formação social da mente**. Ed. Martins Fontes, São Paulo, 2008.

WENZEL, Judite Scherer. A apropriação da linguagem científica escolar e as interações discursivas estabelecidas em sala de aula como modo de aprender ciências. **Revista Transmutare**, v. 2, p. 18-33, 2017.

WESTFALL, Richard S. **Force in Newton's Physics**. London: MacDonald; New York: American Elsevier, 1971.

_____. **A vida de Isaac Newton**. Tradução: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

ZEMBAL-SAUL, Carla; MUNFORD, Danusa; CRAWFORD, Barbara; FRIEDRICHSEN, Patricia; LAND, Susan. Scaffolding Preservice Science Teachers' Evidence-Based Arguments During an Investigation of Natural Selection. **Research in Science Education**, v. 32, p. 437–463, 2002.

ZEMPLÉN, Gabor A. History of science and argumentation in science education: joining forces?. *In*: KOKKOTAS, P. V.; MALAMITSA, K. S. e RIKAKI, A. A. (Eds.). **Adapting historical knowledge production to the classroom**. Rotterdam: Sense Publishers, 2011, p. 12.

ZOHAR, Anat; NEMET, Flora. Fostering Student's Knowledge and Argumentation Skills Through Dilemmas in Human Genetics. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 1, p. 35-62, 2002.

Anexo A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado (a) a participar da pesquisa intitulada “Ensino de Física e a Abordagem Histórica: Análise de uma Sequência Didática Sobre a Terceira Lei de Newton”, de responsabilidade do (a) pesquisador Eider de Souza Silva, que visa desenvolver, aplicar e avaliar uma sequência didática, no contexto do ensino superior, com o objetivo de propiciar o desenvolvimento da habilidade de argumentar de estudantes de licenciatura em Física sobre a terceira lei de Newton e o seu papel na Gravitação Universal, a partir do uso didático da História da Ciência. O desenvolvimento destas práticas será subsidiado por pesquisa prévia na forma de revisão crítica e sistemática da literatura relevante sobre o tema.

A pesquisa envolverá a gravação em vídeo das aulas de Física, bem como uso de questionários, nas quais algumas "falas" serão gravadas e transcritas para análise, com vistas a investigar a qualidade da argumentação dos alunos e sua compreensão sobre a terceira Lei de Newton e o seu papel na gravitação universal de Newton. Apenas o pesquisador responsável e os pesquisadores colaboradores terão acesso aos dados coletados, que serão devidamente arquivados pelo período de 5 anos e serão de uso exclusivo para fins da pesquisa. Após este período os dados serão eliminados e não serão utilizados para avaliação de condutas dos alunos, nem divulgados, em hipótese alguma, para público externo ou interno. Os resultados da pesquisa serão publicados em encontros científicos e revistas especializadas contendo, eventualmente, citações anônimas e utilizando nomes fictícios (pseudônimos) para os estudantes, que terão, assim, sua identidade preservada, e estarão disponíveis a todos, ao final do estudo. Além disso, a participação dos estudantes na pesquisa não envolverá qualquer despesa para os mesmos, bem como, nenhum pagamento pela sua participação.

A participação dos estudantes está sujeita a riscos, a saber:

- Cansaço ou aborrecimento ao responder o questionário;
- Desconforto e constrangimento ao saber que suas “falas” poderão ser usadas nas publicações;
- Desconforto, constrangimento ou alterações de comportamento durante gravações de áudio e vídeo;
- Alterações na autoestima provocadas pela prática argumentativa.

Com o objetivo de minimizar os riscos da participação na pesquisa serão adotados às seguintes medidas, a saber:

- Utilização de pseudônimos para garantir o anonimato dos participantes.
- Os dados das gravações de vídeos e do questionário serão arquivados numa plataforma privada, ao qual apenas o pesquisador responsável terá acesso. Com o objetivo de minimizar os riscos de quebra de sigilo, involuntária e não intencional, dos participantes da pesquisa.
- O pesquisador se responsabiliza em proporcionar assistência jurídica e/ou psicológica aos participantes no que se refere às complicações e danos decorrentes da pesquisa.

A participação dos estudantes na pesquisa é de caráter livre e voluntário, não havendo nenhum tipo de obrigatoriedade para participar e nenhum tipo de penalidade para quem não participe e os estudantes não serão obrigados a fazer qualquer atividade que extrapole suas

tarefas escolares comuns. Por fim, aqueles que consentirem participar podem, em qualquer fase da pesquisa, retirar seu consentimento sem nenhuma penalidade.

As pesquisas em educação trazem como benefícios auxiliar os pesquisadores e educadores a compreenderem melhor os processos educativos dos estudantes, visando sempre seu aperfeiçoamento. Se você concorda em participar, por favor, forneça seu nome e assine este termo no campo indicado abaixo. Isso será considerado prova de sua concordância. Por favor, forneça também seu endereço eletrônico e telefone para contatos posteriores. Este termo constará de duas vias, uma que ficará de posse do pesquisador e outra de posse do participante.

Agradeço a atenção e estou à disposição para maiores esclarecimentos que julgue necessário sobre a metodologia.

Amargosa, de de 2019.

Atenciosamente,

Eider de Souza Silva (Aluno de doutorado do Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências- UFBA/UEFS)

Nome do

participante: _____

Endereço

eletrônico: _____

Telefone: _____

Assinatura: _____

Pseudônimo: _____

Assinatura do responsável pela

pesquisa: _____

Eider de Souza Silva.

Telefone do pesquisador: (75) 99134-0960; e-mail: eiderdss@gmail.com

Área de Física e Sociedade/UFRB/CFP

Endereço profissional do pesquisador: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia,
Amargosa - BA, Brasil

CEP 45300-000.

Endereço residencial do pesquisador: Loteamento Francisco Muniz, nº 203, Bairro Centro,
Amargosa-BA.

Comitê de Ética em Pesquisa

Endereço do CEPEE.UFBA: Rua Augusto Viana S/N Campus do Canela, Canela. Salvador
Bahia Salvador Bahia. CEP 40110-060. Telefone (71) 3283-7615.

E-mail cepee.ufba@ufba.br

Horário de Funcionamento: Segunda a sexta-feira - 07h às 17h

Anexo B - Ementa da disciplina de História da Física e Ensino I



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
PRÓ-REITORIA GRADUAÇÃO
 COORDENADORIA DE ENSINO E INTEGRAÇÃO ACADÊMICA
 NÚCLEO DE GESTÃO ACADÊMICA DE CURSOS E CURRÍCULOS

PLANO DE CURSO DE COMPONENTE CURRICULAR

CENTRO

Centro de Formação de Professores

CURSO

Licenciatura em Física

DOCENTE: Eider de Souza Silva**Em exercício na UFRB desde:** 2013**TITULAÇÃO:** Mestre**COMPONENTE CURRICULAR**

CÓDIGO	TÍTULO	CARGA HORÁRIA ¹²⁹			ANO/SEMESTRE
		T	P	TOTAL	
240	História da Física e Ensino I			60	2019.2

EMENTA

REFLEXÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DOS CONCEITOS E DO ENSINO DE FÍSICA DESDE A FILOSOFIA GREGA DA NATUREZA ATÉ A FÍSICA MODERNA

OBJETIVOS

PROPICIAR AOS ALUNOS, UM CONHECIMENTO DOS CONCEITOS ACERCA DA MECÂNICA CLÁSSICA (AS LEIS DE MOVIMENTO E DE CONSERVAÇÃO) NO QUE DIZ RESPEITO AO SEU DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO E EPISTEMOLÓGICO, A PARTIR DA ARGUMENTAÇÃO.

METODOLOGIA

METODOLOGIA AULAS DE EXPOSIÇÃO E DISCUSSÃO DOS TEMAS CONTIDOS NO CONTEÚDO PROGRAMÁTICO, SENDO QUE OS TEXTOS REFERENTES A ESTES DEVERÃO SER ENTREGUES AOS ALUNOS COM UMA SEMANA DE ANTECEDÊNCIA; UTILIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS DE DEMONSTRAÇÃO. DATA SHOW.

RECURSOS

QUADRO, DATA SHOW E ROTEIRO DE DISCUSSÃO.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO**A COSMOLOGIA E A FÍSICA ARISTOTÉLICAS**

- O MODELO COSMOLÓGICO DE ARISTÓTELES
- OS MUNDOS SUPRA E SUB LUNAR
- A CONCEPÇÃO DO ÉTER ASSOCIADO À PERFEIÇÃO DO MUNDO SUPRA-LUNAR
- A IDÉIA DOS QUATRO ELEMENTOS (TERRA, ÁGUA, AR E FOGO) ASSOCIADOS AO MUNDO SUB-LUNAR
- MOVIMENTOS NATURAIS E MOVIMENTOS VIOLENTOS
- A IDÉIA DA BUSCA DO "LUGAR NATURAL" COMO CAUSA DOS MOVIMENTOS NATURAIS

¹²⁹ T = Teórico P = Prático

- A NOÇÃO DE FORÇA COMO CAUSA DOS MOVIMENTOS VIOLENTOS
- A FORMA DE PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO ARISTOTÉLICA BASEADA NA OBSERVAÇÃO DOS FENÔMENOS E NO SENSO COMUM E A NEGAÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO E DA MATEMATIZAÇÃO DOS FENÔMENOS FÍSICOS
- A PREOCUPAÇÃO COM A ESSÊNCIA DAS COISAS E COM AS SUAS CAUSAS FINAIS

A FÍSICA E A COSMOLOGIA DE PTOLOMEU A COPÉRNICO

- O MODELO ASTRONÔMICO DE PTOLOMEU
- O ESQUECIMENTO DAS OBRAS CIENTÍFICAS GREGAS PELO IMPÉRIO ROMANO
- A EXPANSÃO ÁRABE E O RESGATE DAS OBRAS DE ARISTÓTELES E PTOLOMEU
- A CHEGADA DAS OBRAS ISLAMIZADAS DE ARISTÓTELES E PTOLOMEU AO MUNDO OCIDENTAL
- A FÍSICA E A ASTRONOMIA NA IDADE MÉDIA
- O MODELO HELIOCÊNTRICO DE COPÉRNICO

A REVOLUÇÃO CIENTÍFICA DO SÉCULO XVII

- GALILEO E A DEFESA DO MODELO COPERNICANO
- OS PRIMEIROS PASSOS PARA A UNIFICAÇÃO DA FÍSICA COM A COSMOLOGIA
- A RUPTURA COM O ARISTOTELISMO SOB O ASPECTO CONCEITUAL (OS NOVOS CONCEITOS ACERCA DO MOVIMENTO EM CONTRAPOSIÇÃO AOS CONCEITOS ARISTOTÉLICOS)
- A RUPTURA COM O ARISTOTELISMO SOB O ASPECTO METODOLÓGICO (A NOVA METODOLOGIA INTRODUZIDA POR GALILEO ATRAVÉS DA MATEMATIZAÇÃO E DA EXPERIMENTAÇÃO)
- AS IMPLICAÇÕES DA REVOLUÇÃO CIENTÍFICA PARA A CIÊNCIA E PARA A SOCIEDADE (DESENVOLVIMENTO DE NOVOS RAMOS DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO A PARTIR DO NOVO MÉTODO DE PRODUÇÃO, MUDANÇA DA CONCEPÇÃO DE UNIVERSO, ADVENTO DA TECNOLOGIA, ETC.).

O ESTUDO DO MOVIMENTO SEGUNDO GALILEO

- O MOVIMENTO UNIFORME (SUA DEFINIÇÃO E SEUS TEOREMAS, ESTABELECIDOS COM O USO DA GEOMETRIA)
- O MOVIMENTO UNIFORMEMENTE ACELERADO (SUA DEFINIÇÃO E SEUS TEOREMAS, A CORRESPONDÊNCIA DA QUEDA DOS CORPOS COM ESTE TIPO DE MOVIMENTO, A EXPERIÊNCIA DO PLANO INCLINADO)
- O MOVIMENTO DOS PROJÉTEIS (A INDEPENDÊNCIA DOS MOVIMENTOS DE UM CORPO)
- O CONCEITO DE INÉRCIA

O ESTUDO DO MOVIMENTO SEGUNDO NEWTON

- AS DEFINIÇÕES QUE PRECEDEM AS TRÊS LEIS, NOS "PRINCÍPIA"
- A PRIMEIRA LEI DE NEWTON (OS REFERENCIAIS INERCIAIS)
- A SEGUNDA LEI, A PARTIR DA DEFINIÇÃO DE MOMENTO (O ENTENDIMENTO DE QUE ESTA LEI NÃO É UMA MERA DEFINIÇÃO DE FORÇA, MAS UMA ESPÉCIE DE PROGRAMA PARA A FÍSICA CLÁSSICA: ENCONTRAR AS LEIS DE FORÇAS CORRESPONDENTES A TODAS AS INTERAÇÕES POSSÍVEIS)
- A TERCEIRA LEI E A CONSERVAÇÃO DO MOMENTO
- O CONCEITO DE ESPAÇO E TEMPO ABSOLUTOS
- AS LEIS DE KEPLER E A LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

FILOSOFIA DA CIÊNCIA

- BACHELARD;
- FEYERABEND E O PLURALISMO METODOLÓGICO;
- A FILOSOFIA DA CIÊNCIA DE KARL POPPER: O RACIONALISMO CRÍTICO;
- A EPISTEMOLOGIA DE KUHN;
- A METODOLOGIA DOS PROGRAMAS DE PESQUISA: A EPISTEMOLOGIA DE IMRE LAKATOS.

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

Avaliação processual: Resumos (Devem apresentar comentários sobre a temática do texto de forma geral, destacando sua compreensão sobre o tema abordado); Resolução de problemas; Seminário; Frequência e Participação.

REFERÊNCIA

Básica (mínimo 03):

GALILEO GALILEI - DISCURSOS SOBRE AS DUAS NOVAS CIÊNCIAS, TRADUÇÃO: L. MARICONDA E P. R. MARICONDA, ED. NOVA STELLA, SÃO PAULO, 1988.

ISAAC NEWTON - PRINCÍPIOS MATEMÁTICOS DA FILOSOFIA NATURAL, TRADUÇÃO: C. DE MATTOS E P. R. MARICONDA, COLEÇÃO OS PENSADORES, ED. NOVA CULTURAL, SÃO PAULO, 1987.

PIERRE LUCIE - FÍSICA BÁSICA, VOL. I, FUNDAÇÃO CESGRANRIO, RIO DE JANEIRO, 1975.

Complementar:

HOLTON, G.; RUTHERFORD, F.; FLETCHER, G. Projecto Física. Unidade 1: Conceitos de movimento. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1985.

PEDUZZI, L. O. Q. A Física Aristotélica. In: Força e movimento: de Thales a Galileu. Coleção Evolução dos Conceitos da Física. Publicação interna. Florianópolis, SC: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015 (revisado em julho de 2019). Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br

REGISTROS DE APROVAÇÃO

Aprovado em reunião do Colegiado

Conselho de Centro

Local:

Data:

Data:

Coordenação do Colegiado do Curso

Docente

CENTRO

CURSO

Licenciatura em Física

DOCENTE:

Em exercício na _____ desde:

TITULAÇÃO: Mestre

COMPONENTE CURRICULAR

Anexo C - Lista de símbolos utilizados na transcrição

Foram adotados os seguintes códigos para descrever algumas ações nas falas dos participantes da pesquisa. Essa notação é necessária porque não existem sinais de pontuação adequados no português. São elas:

(...) - Pensamento longo;

(/) - Interrupção na fala;

(?) - Palavra ou frase incompreensível;

... - omissão de palavra/frase que não é relevante à análise, por ser inadequado ao contexto de sala de aula (Por exemplo: conversas paralelas, que fogem ao tema da aula; palavrões; xingamentos; etc.).

Apêndice A - Turnos de fala que contém o episódio argumentativo analisado que envolveu a construção do argumento coletivo elaborado pelo grupo A sobre o movimento segundo Aristóteles

Turno 1 - A1: Utilizando o layout de Toulmin elabore argumentos para responder os problemas e questões abaixo.

Turno 2 – A2: Dois corpos A e B são abandonados na mesma altura (/).

Turno 3 - A1: No mesmo instante, de acordo com a física aristotélica explique quem chega primeiro ao chão. Considere que a massa de A é duas vezes maior que a massa de B. E aí, gente?

Turno 4 – A3: Eu não lembro dessa parte (/).

Turno 5 – A2: A velocidade depende do peso.

Turno 6 - A1: Pronto, para Aristóteles a velocidade depende do peso.

Turno 7 – A3: Vei, eu me perdi.

Turno 8 - A1: Lembra? No texto dois ele fala sobre a torre de Pisa, que um rapaz fez um experimento muito tempo depois pra contradizer Aristóteles.

Turno 9 – A3: Ah, o mais pesado, né?

Turno 10 - A1: Então o mais pesado chega mais rápido.

Turno 11 – A3: Sim.

Turno 12 - A1: Pra Aristóteles. E aí, já que o A tem massa duas vezes maior ele vai chegar, na verdade ele vai ter velocidade duas vezes maior. Não é nem que ele vai chegar mais rápido, mas que ele vai ter velocidade duas vezes maior.

Turno 13 – A4: É.

Turno 14 - A1: Ele vai conseguir atingir uma velocidade duas vezes maior.

Turno 15 – A4: Mas logo (/).

Turno 16 - A1: Ele vai chegar duas vezes mais rápido no caso, vai gastar metade do tempo.

Turno 17 – A2: Agora essa parte é a parte que a gente copia porque tem que fazer o argumento (/)

Turno 18 - A1: Sim.

Turno 19 – A4: É, tem que ver quem é cada coisa, né? Os dados.

Turno 20 – A1: Sim.

Turno 21 – A4: Os dados seriam: dois corpos A e B abandonados na mesma altura, né?

Turno 22 - A1: Sim.

Turno 23 – A4: Se dois corpos A e B são abandonados na mesma altura, no mesmo instante (/).

Turno 24 – A5: Então (...).

Turno 25 - A1: De acordo com a física aristotélica, já que (risos).

Turno 26 – A4: É, bora por parte, né?

Turno 27 – A3: Vai botando os topicozinhos depois a gente vai vendo.

Turno 28 – A4: É, não precisa fazer exatamente assim não.

Turno 29 – A3: Então bota aqui, só em tópicos.

Turno 30 - A1: Pode ser uma frase, dar pra fazer numa frase.

Turno 31 – A4: Dá.

(Falatório)

Turno 32 - A1: Eu acho que você faz a frase a pessoa identifica.

Turno 33 – A4: Mas na aula passada a gente fazia assim pra ela, pra ajudar ela a compreender.

Turno 34 – A5: É, verdade, ajuda a coleguinha.

Turno 35 – A4: Depois ela vai perceber que dá pra fazer uma frase.

Turno 36 – A1: Tá.

Turno 37 – A4: Tem quatro (risos).

Turno 38 – A3: Então a gente pode fazer, iniciou uma depois a gente vai mudando.
(Risos)

Turno 39 - A1: Se dois corpos A e B são abandonados numa mesma altura.

Turno 40 – A5: Aí fala, “Então” (...) Eu tô pensando alto.

Turno 41 – A4: No mesmo instante.

Turno 42 - A1: E no, não, no mesmo instante. Pronto, aí acaba os dados, ele não quer botar as paradas.

Turno 43 – A5: É pra tu entender, bota assim, uma setinha assim e dados.

(Risos)

Turno 44 – A3: Certo, agora que mais?

Turno 45 – A5: Agora conclusão.

Turno 46 – A3: Certo.

Turno 47 – A5: Então (/).

Turno 48 - A1: Pera aê, pera aê, pera aê porque a gente não tá considerando A e B de massas diferentes ainda, nessa frase aí só A e B não tem massas diferentes.

Turno 49 – A5: Não, mas a questão toda é isso.

Turno 50 - A1: Não, mas pera aí, pra você chegar na conclusão que um (?) que o outro você precisa disso nos dados.

Turno 51 – A5: Mas então, a gente vai refutar isso lá na conclusão, a gente concluiu não é isso?

Turno 52 - A1: Porque a justificativa uma vez aprovada pelos fundamentos vai autorizar a conclusão obtida a partir dos dados, sendo considerado qualificador, né?

Turno 53 – A4: Mas gente, olha o que eu vou falar ó, se a gente tá considerando que A e B são dois corpos, a gente pode falar assim “Então, é (...)” (/).

Turno 54 - A1: Sendo A duas vezes mais pesado do que B.

Turno 55 – A5: Não, isso aí a gente poderia usar como refutador.

Turno 56 – A5: Não, a gente coloca, pera aê, a gente coloca que o B vai cair primeiro.

Turno 57 – A1: Qual seria a conclusão?

Turno 58 - A1: A gente tem que usar a referência aristotélica.

Turno 59 – A4: Exatamente, na justificativa, na justificativa que a gente usa.

Turno 60 - A1: Então a gente vai botar na conclusão que eles vão chegar ao mesmo tempo a não ser que, a menos que (/).

Turno 61 – A5: A menos que.

Turno 62 – A4: E aqui na justificativa a gente coloca “já que A tem massa” (/).

Turno 63 - A1: Duas vezes maior que B.

Turno 64 – A4: É. Que é mantido pela física aristotélica. Não necessariamente precisa colocar nos dados.

Turno 65 - A1: Tá, entendi.

Turno 66 – A5: Porque tu fala virando o olho?

Turno 67 – A4: De deboche. (14:12)

Turno 68 - A1: Deboche puro.

Turno 69 – A5: Ele fala assim mesmo.

Turno 70 - Professor: Como ela não estava no momento ajudem ela pra estruturar o pensamento.

Turno 71 - A1: Sim, a gente tá fazendo do mesmo jeito que a gente fez na primeira aula que a gente tá separando um por um e tá demonstrando. A gente definiu isso em grupo porque a gente é muito gente boa.

Turno 72 – A3: Agora conclusão, vai direto pra conclusão ou vai pra justificativa?

Turno 73 – A4: A gente coloca o qualificador, né?

Turno 74 - A1: Sim, do A. Ah, aí ele vai dizer sempre ou é com certeza.

Turno 75 – A4: Sendo não, é certo, necessário provar que garante (...).

Turno 76 – A4: É isso, aí na conclusão a gente coloca “então com certeza” (/)

Turno 77 - A1: Com certeza os dois vão cair ao mesmo tempo.

Turno 78 – A3: Então o “com certeza” seria o (...).

Turno 79 - A1: Qualificador. Pera aí, porque se a gente botar “com certeza os dois vão cair ao mesmo tempo” a gente já tá indo pra conclusão, então qualificadora é com certeza só.

Turno 80 – A4: É isso, mas o qualificador é com certeza mesmo.

Turno 81 – A2: Mas gente o resultado eles não cairiam ao mesmo tempo.

Turno 82 – A5: Mas isso aí seria o refutador.

Turno 83 - A1: Porque a gente vai botar como se as duas tivessem a mesma massa, aí “a menos que as duas tenham massas diferentes vão cair em tempos diferentes”.

Turno 84 – A2: Ah, saquei.

Turno 85 – A3: A conclusão é “Então”.

Turno 86 – A5: Os dois caem ao mesmo tempo.

Turno 87 – A4: E a gente vai usar a justificativa o que?

Turno 88 - A1: É isso que eu fiquei na dúvida.

Turno 89 – A4: Então o que eu falei foi diferente, não tô pensando desse jeito não.

Turno 90 – A3: Mas a justificativa tem que ter.

Turno 91 - A1: Só tô acompanhando (Risos).

Turno 92 – A4: O que eu te falei aquela ora, no meu pensamento a gente ia colocar que B ia cair antes de (/).

Turno 93 – A5: Ou se não a gente pode botar já no início “já que os dois tem massas iguais” (/).

Turno 94 – A4: O que eu falei, o que eu pensei que vocês iam fazer de outro jeito, por exemplo, aqui na conclusão a gente ia colocar que B ele ia cair antes de A e aqui na justificativa que a gente colocaria “já que A, já que B tem (...)” (/).

(?)

Turno 95 – A4: Sim, que é garantido pela física aristotélica e não que na conclusão a gente iria colocar que os dois cairiam ao mesmo tempo.

Turno 96 – A4: Não, mas o que eu pensei foi desse jeito, só que eu tinha pensado que vocês tinham pensado assim também.

Turno 97 - A1: Aí o qualificador fica estranho, mas (...).

Turno 98 – A5: Faz de um jeito, depois faz de outro e compara os dois.

Turno 99 – E3: Pera, eu não entendi.

Turno 100 - A1: Não, ainda tem outras quatro questões, três questões.

Turno 101 – A4: Porque o jeito que vocês falou foi assim, vai garantir que os dois vai cair a mesmo tempo a menos que os dois tenham massas diferentes. O que eu pensei que vocês ia fazer, é isso, só que não tem justificativa, né? Pra isso. O que eu pensei que ia fazer era assim, que os dois corpos (?) com certeza A vai cair, não, B vai cair antes de A já que (/).

Turno 102 – A2: Os dois tem massas diferentes.

Turno 103 – A4: É, já que B é duas vezes mais pesado que A, que é garantido pela física aristotélica e no meu caso não teria refutador. Nesse pensamento, que eu tava pensando dessa forma.

Turno 104 – A2: Eu acho que o refutador seria se os dois fossem de massa (?) também.

Turno 105 – A3: Então eu vou apagar isso aqui.

Turno 106 – A5: Não apaga tudo não, fia.

Turno 107 – A2: Só a conclusão e o qualificador.

Turno 108 – A5: Eu recomendaria em fazer os dois e depois comparar.

Turno 109 – A4: Aqui vá fazendo o outro ó.

Turno 110 – A3: É.

Turno 111 – A5: Não fia, é pra pensar em grupo, não é individual.

(Risos)

Turno 112 – A5: A atividade é em grupo, se todos decidiram fazer um porque eu vou fazer outro?

Turno 113 - A1: É porque tem possibilidade de ir pra dois caminhos.

Turno 114 – A3: Sim.

Turno 115 - A1: Dois assim, que a gente decidiu, né? Mas tem vários outros. Que a gente pensou em utilizar. A conclusão dos dois caírem ao mesmo tempo e como refutador ao menos que eles tenham massas diferentes, que é o caso que a questão dar, que eles têm massas diferentes. Que aí a gente seria mais amplo, no caso, não olharia só pro que a questão pede. Que a questão tá pedindo de A e de B.

Turno 116 - A: Tá, exatamente.

Turno 117 – A3: E aí a conclusão seria que um que iria cair mais que o outro?

Turno 118 – A2: É, um vai cair primeiro que o outro.

Turno 119 - Professor: Para Aristóteles, qual a composição dos elementos? Lembra que a gente perguntou aqui?

Turno 120 - A1: Sim.

Turno 121 - Professor: Isso vai alterar?

(Falatório)

Turno 122 – A2: Então o refutador seria isso?

Turno 123 – A3: Isso seria a justificativa pela composição do elemento.

Turno 124 – A2: Não, seria o refutador não? A menos que cada corpo desse fosse composto por elementos diferentes, porque aí um não vai cair, vai subir e não vai cair, já pensou se uma bola dessa de fogo (/).

Turno 125 - A1: Mas tem a questão que aqui ele não diz que os dois são do mesmo tamanho.

Turno 126 – A2: Do mesmo tamanho?

Turno 127 - A1: Ele não diz e aí se você por exemplo entra “ah, um é o dobro do tamanho do outro, mas é feito de ar e aí ele é duas vezes mais pesado do que o outro porque ele é muito maior”. Tipo, você pega uma bola gigante de ar e uma bolinha de ferro.

Turno 128 – A4: Mas fala de massa aqui.

Turno 129 – A5: É isso.

Turno 130 - A1: É isso, não, é isso.

Turno 131 – A5: Porque não necessariamente precisariam ser iguais.

Turno 132 - A1: Por que aí o ar, o ar quando você soltasse, quando você soltasse os dois, o ar iria subir, segundo a física aristotélica e o outro iria cair.

Turno 133 – A4: Sim.

Turno 134 - A1: Porque aí é a questão dos elementos e aí a massa do menor pode até ser maior ou a do maior pode ser maior.

Turno 135 – A4: Mas aqui não tá falando de tamanho, tá falando de massa.

Turno 136 - A1: É isso, não.

Turno 137 – A4: Então eu não entendi seu raciocínio não.

Turno 138 - A1: Porque ele pode entrar como refutador. O refutador pode ser isso, a menos que ele entre. É, foi o que você falou, só tô dando exemplo.

Turno 139 – A2: Eu achei que ele tava refutando (risos).

Turno 140 - A1: Não, não. Do jeito que você falou tá certo, eu só dei um exemplo pra poder explicar.

(Risos)

Turno 141 – A2: Não, porque eu falei uma coisa e quando tu tava explicando eu achei que tu tava dizendo que não poderia ser do jeito que eu falei.

Turno 142 – A1: Não, pode, pode

(Risos).

Turno 143 – A2: Eu tava tentando entender o que ele queria.

Turno 144 - A1: Se você pegar, pense aí, vamos lá.

Turno 145 – A4: Fala pausadamente.

Turno 146 - A1: Pegar uma bola gigante de ar, de ar, uma bexiga de ar. E aí ela vai ter uma massa, certo?

Turno 147 – A4: Certo.

Turno 148 - A1: Aí você vai pegar uma bolinha pequeninha de ferro. A bola de ar vai ter a massa duas vezes maior do que a de ferro. Vamos considerar isso. Quando você soltar as duas, a de ar vai subir e a de ferro vai cair. A ideia era essa.

Turno 149 – A4: Tô entendendo.

Turno 150 - A1: Aí se, por exemplo, pode ser de hélio, não precisa nem ser de ar, pode ser de hélio mesmo porque hélio é mais leve ainda. Pronto. Um vai subir e o outro vai cair, aí vai entrar a questão dos elementos que o professor falou.

Turno 151 – A4: Hum, agora ficou claro.

Turno 152 - A1: E aí a massa é dobrada mas assim os elementos que compõem são diferentes.

Turno 153 – A2: Vamos lá, conclusão.

Turno 154 -A1: Então a gente faz do jeito que A4 tinha falado.

Turno 155 – A4: É, do jeito que eu falei.

Turno 156 - A1: E aí no final, no refutador, bota (/)

Turno 157 – A5: Coloca isso o que vocês falaram.

Turno 158 - A1: Aí eu acho que nos dados entra a questão de A e B terem massas diferentes.

Turno 159 – A4: Não, mas aqui fala (/)

Turno 160 – A2: Não, isso seria na justificativa.

Turno 161 – A2: Foi isso que Pati falou, essa parte das massas diferentes vai na parte da justificativa.

Turno 162 - A1: Tá, tá certo.

Turno 163 – A2: Na justificativa entra isso e no refutador “a menos que eles sejam de materiais diferentes”.

Turno 164 - A1: Sim, sim, entendi.

Turno 165 – A4: Então Miriam, na conclusão tu coloca, tu coloca o qualificador, né? “Com certeza” (/)

Turno 166 - A1: É, com certeza.

Turno 167 – A4: Com certeza B cairá duas vezes mais rápido, né? Que A. É duas vezes mais rápido ou (...).

Turno 168 - A1: Com velocidade duas vezes maior. O que vai dar duas vezes mais rápido.

Turno 169 – A2: Esse “com certeza” é um qualificador que a gente enfiou aí?

Turno 170 – A4: É.

(Falatório)

Turno 171 – A3: Com certeza B cairá duas vezes mais rápido que o A.

Turno 172 – A4: Aí na justificativa (...).

Turno 173 - A1: Pera aê, pera aê, pera aê, o qualificador é isso tudo?

Turno 174 – A4: Não, o qualificador (/)

Turno 175 - A1: O qualificador é pequenininho.

Turno 176 – A4: Não, o qualificador é “com certeza” (/)

Turno 177 - A1: Aqui é a conclusão?

Turno 178 – A2: Aqui é a conclusão.

Turno 179 - A1: Ah tá.

Turno 180 – A2: Aí é a conclusão e o qualificador tá dentro.

Turno 181 - A1: O “com certeza” é qualificador porque aí tava só como conclusão.

Turno 182 – A2: Na outra semana a gente colocou o qualificador por último, mas ele falou que o qualificador não pode ter frase, é só palavra.

Turno 183 - A1: É, o qualificador é só palavra, é um negócio pequenininho, pode ser “com certeza, “nunca”, “as vezes”.

Turno 184 – A3: Justificativa?

Turno 185 – A4: É, “já que A” (...)

Turno 186 - A1: A massa de A é duas vezes maior que a massa de B.

Turno 187 – A4: Ôh, então a gente colocou errado.

Turno 188 – A2: Não, tá certo.

Turno 189 – A5: Tá certo.

Turno 190 – A4: Não, achei que tinha falado duas vezes menor.

Turno 191 - A1: Maior.

Turno 192 – A4: Então aqui tá errado.

Turno 193 – A2: É esse aqui tá errado.

Turno 194 – A4: É isso que eu tô falando.

Turno 195 - A1: Aí é só trocar, A tem a massa maior. Vocês também não estão nem lendo a questão (risos).

Turno 196 – A4: Ah, ler eu li, né? (Risos).

Turno 197 – A3: A massa de A é duas vezes maior (...).

Turno 198 – A2: Que a massa de B.

Turno 199 – A4: Mas, o fundamento é a lei física, né? Que a gente fala.

Turno 200 – A2: De acordo com (...).

Turno 201 – A4: A física aristotélica.

Turno 202 – A3: Pronto.

Turno 203 – A4: Aí tu coloca agora o fundamento.

Turno 204 – A2: “De acordo com a física aristotélica”.

Turno 205 – A4: “Que é garantido pela física aristotélica”.

Turno 206 – A3: É “de acordo com a física aristotélica” ou “garantido pela física aristotélica”?

Turno 207 – A4: Tanto faz, alguma coisa que seja parecido com isso aqui “Que é garantido, que é”. É porque ele já dar essas palavras aqui, mas a gente pode usar outras, mas que tragam o mesmo sentido. Tu é livre pra escolher.

Turno 208 - A1: “Que é fundamentada”.

Turno 209 – A4: É, “que é fundamentada”.

Turno 210 - A1: “Que é garantido”, “que é validado”, “que é autorizado”, o que for aí serve. Você tá entendendo?

Turno 211 - Eider: E aí, tão aonde já?

Turno 212 - A1: Na primeira do, que a gente tava (/)

Turno 213 - Eider: Conseguiram entrar no consenso das primeiras e tal?

Turno 214 - A1: Sim.

Turno 215 - Eider: Essa primeira aí não era pra eu ter colocado logo de primeira não, parece simples mas (/).

Turno 216 - A1: É porque eu fiquei, ele não define nos textos não. Tipo, ele diz o que é necessário pra que ele aconteça, mas ele não define o que é. Tipo, tem essa, essa dúvida.

Turno 217 – A3: “Que é fundamentada pela teoria da física aristotélica”?

Turno 218 – A4: Isso.

Turno 219 - A1: Porque o que é ele não fala o que é o movimento.

Turno 220 – A3: Refutador.

Turno 221 – A5: Refutador foi o que as duas bênçãos estavam discutindo. Que eu e Pati ficou um olhando pra cara do outro.

Turno 222 - A1: “A menos que B (...)”.

Turno 223 – A2: “A menos que” (/).

Turno 224 - A1: “A menos que A” não (/).

Turno 225 – A2: Tenham elementos diferentes?

Turno 226 - A1: Não necessariamente, porque assim (/).

Turno 227 – A3: “A menos que A seja composta de um elemento”.

Turno 228 - A1: Leve e B de um elemento pesado.

Turno 229 – A3: “A menos que A seja” (/).

Turno 230 - A1: É pesado que usa? Não, é grave e o outro é grave e?

Turno 231 – A5: Violento.

Turno 232 - A1: Não, violento é movimento.

Turno 233 – A4: É grave e leve mesmo.

Turno 234 - A1: É grave e o que, professor? É grave e pesado?

Turno 235 - Professor: Leve ou grave, por exemplo, é natural a gente, esses textos todos trazem isso que a gente pode definir como transposição didática. Então existem alguns termos que eles acabam citando referindo a um termo que o Aristóteles utilizava ou outros termos que foi por transposição.

Turno 236 - A1: Sim, parecido.

Turno 237 - Professor: Óh, isso ele quis dizer isso, então todo texto didático agora a gente vai utilizar esse termo aqui que torna mais compreensivo pro leitor. Então também tem essas questões. Você pode usar grave, mas aí você tá entendendo principalmente o significado.

Turno 238 - A1: Sim, é porque o termo do leve a gente ficou com dúvida se é realmente leve.

Turno 239 - Professor: Sim.

Turno 240 - A1: O termo que usa. Porque um texto fala de grave, o outro fala de pesado, tem essas diferenças também.

Turno 241 – A4: Tem um texto que ele fala o nome do movimento, tem o repouso, não o próprio (/).

Turno 242 - A1: É quando a força e a resistência é inversa, seria.

Turno 243 – A4: É, mas tipo ele fala que não existe uma definição de repouso porque o próprio corpo que (/).

Turno 244 – A3: Posição natural dele, né?

Turno 245 – A4: É, natural. Eu não sei se é nessa parte que ele fala do movimento.

Turno 246 - A1: Eu acho que ele não define o que é movimento, pelo que eu me lembro eu acho que ele não define.

Turno 237 – A4: Aí Miriam, o que a gente tava discutindo àquela hora, o que eu queria fazer, ao invés de colocar assim “dados” (/).

Turno 248 - A1: Juntar tudo num texto corrido.

Turno 249 – A5: Mais prático.

Turno 250 – A3: A gente tenta agora, depois, na segunda.

Turno 251 – A3: “A menos que A seja composto de um elemento leve e B seja composto de um elemento grave”.

Turno 252 - A1: Acho que pra mim tá válido.

Turno 253 – A3: E o tamanho?

Turno 254 - A1: Não precisa não, a gente pode adicionar na fala, adicionar isso na fala.

Turno 255 – A2: Aí na justificativa a gente falou que a massa de um é duas vezes maior que a de outro.

Turno 256 - A1: É porque nessas comparações ele sempre tenta colocar volumes iguais e formatos também. Aí quando você tipo, se você pegar aqui ele não define volume e formato igual, aí você pode ir por esse caminho de formato diferente, de volume diferente ou então pra questão do objeto mesmo que compõe.

Turno 257 – A4: Fica subentendido que a gente tá considerando que tudo tem o mesmo tamanho, volume, a massa que é diferente.

Turno 258 - A1: É, mas também você pode, na hora da fala é bom a gente falar sobre isso porque também é outro caminho. O que mantém o corpo grave em movimento depois dele ter perdido o contato com a mão? Ah, eu não entendi.

Turno 259 – A2: Foi aquela parte que a gente disse.

Turno 260 - A1: Como assim?

Turno 261 – A4: Quando tu joga um corpo pra cima, aí ele continua em movimento porque a mão ela transmite a força ou alguma coisa pro ar. Vai lembrando aí que eu tô descendo o texto.

Turno 262 – A3: Ela vai passando a força pro ar e aí as partículas vão passando (/).

Turno 263 – A4: Aí chega um momento que (...).

Turno 264 - A1: Essa força meio que para.

Turno 265 – A4: Sim, tu tá com o texto aí?

Turno 266 – A3: Tô.

Turno 267 – A4: Pega aí pra gente ver essa parte, a gente não pode copiar igual, né?

Turno 268 - A1: Não, mas só pra lembrar aí eu acho que não tem problema não.

Apêndice B - Turnos de fala que contém o episódio argumentativo analisado que envolveu a construção do argumento coletivo elaborado pelos grupos A, B e C para resolver o problema 2 sobre a terceira lei de Newton

Turno 1 - Professor - Após a discussão dos argumentos dos grupos 1, 2 e 3, do problema 2, a gente vai então... vocês vão construir o argumento coletivo, que representa o grupo, ali no quadro. Aí eu queria um membro, que vai ser C5 dessa vez, pra vir aqui no quadro copiar. Por favor, C5. Então...

[Cochichos na sala.]

Turno 2 - Professor - Por favor, gente, argumento coletivo, pra gente finalizar essa parte.

Turno 3 – C1e A5 - Se um dedo aplica uma força...

Turno 4 – A4 - Sim, cada um vai falar uma coisa?

[risos]

Turno 5 – A4 - Nos dados, o de todo mundo tá igual, né, mas o restante, muda algumas palavras, então...

Turno 6 - Estudante - É...

Turno 7 – A4 - Vai escrever o que?

Turno 8 – A5- Agora eu fiquei acanhado de falar.

Turno 9 – A4 - Oh...

[risos]

Turno 10 – B1 - Se um dedo ...

Turno 11 – C2 - Aplica uma força...

Turno 12 – C1 - Aplica uma força sobre um bloco...

[Cochichos na sala.]

[risos]

Turno 13 – A1 - No final, não.

[risos]

Turno 14 – A5 – C1, você está me atrapalhando. Tô raciocinando. Silêncio.

Turno 15 – C5 - Foi verdade. Não foi?

Turno 16 – A5 - Pssst!

Turno 17 – A4 - Reclamando agora.

Turno 18 – C1 - Sim. Então...

Turno 19 – A5 - Cadê o que tu falou?

Turno 20 – Professor - Gente, por favor, o argumento coletivo ali. Concentra.

[risos]

Turno 21 – C1 - E aí, o que vai botar?

Turno 22 – Professor - Sem conversa paralela.

Turno 23 – A1 - Com certeza...

Turno 24 – C1 - O bloco...

Turno 25 – A5 - O bloco exerce...

[Cochichos na sala.]

Turno 26 – A5 - Uma força...

[Cochichos na sala.]

[risos]

Turno 27 – A5 - Sobre o dedo...

Turno 28 – Professor - Vamos lá, gente. Diga, C2.

Turno 29 – A5 - De mesma intensidade.

[Cochichos na sala.]

Turno 30 – A5 - E direção.

[Silêncio na sala.]

Turno 31 – A5 - E o resto, gente? Mas, sentidos opostos. Vai, gente, continua.

Turno 32 – Professor - Vamos lá, gente!

Turno 33 – A5, batendo palmas - Shhh.

Turno 34 – Professor - Foco no argumento coletivo.

Turno 35 – A5 - Ai, que dor... Já que... Pra que tanta foto, né?

[risos]

Turno 36 - A1 - É foto, é vídeo, né? Boa pergunta.

[risos]

Turno 37 – A5 - Vou ficar famoso.

Turno 38 - A1 - É a selfie.

[risos]

Turno 39 – A5 - Vou ficar famoso. É...

Turno 40 - A1 - Já que trata-se...

Turno 41 – A5 - Trata-se de um par ação e reação.

Turno 42 – B2 - Uhum.

[risos]

Turno 43 – C3 - É o que, B2?

[risos]

Turno 44 – A5 - Vai no Instagram e faz um boomerang.

[risos]

Turno 45 - Andressa - Hashtag...

Turno 46 – A5 - Cada foto é dez reais.

[risos]

Turno 47 – A5 - Ah, esqueci que assinei um termo. Todo dia eu esqueço dele.

Turno 48 – A4 - Que é garantido pela Terceira Lei de Newton.

Turno 49 – A2 - Não tava incluso selfie não.

Turno 50 – A5 - Ei!

Turno 51 – A4 - Terminou de gravar?

[Cochichos e conversas simultâneas na sala.]

Turno 52 – A3 - A gente queria fazer prova, só que aí o professor...

Turno 53 – A1 - De que?

Turno 54 – A3 - História.

Turno 55 – A5 - Ele barrou, o professor.

Turno 56 – Professor - Obrigado, C5.

Turno 57 – A5 - Aaaah... quando eu vi aquele marginal levando...

Turno 58 – Professor - Então, esse é o argumento coletivo, não é isso? Que vocês construíram. Vamos lá, C3! Que diz o seguinte: Se um dedo aplica uma força sobre um bloco, então, com certeza, o bloco exerce uma força sobre o dedo, com mesma intensidade e direção, mas em sentidos opostos, já que trata-se de um par ação e reação, que é garantido pela Terceira Lei de Newton. Então, esse é o argumento coletivo de vocês? Diga, A1.

Turno 59 – A1 - Bota "mas em sentido oposto" porque ele tá falando da força que o bloco exerce sobre o dedo. Então, ela...

Turno 60 – C1 - Sim, mas em sentidos opostos, não é?

Turno 61 – A1 - Sentido oposto. Cê tá falando da força que o bloco tá exercendo sobre o dedo. Não tá falando sobre as duas.

Turno 62 – A4 - Tá é em sentidos opostos.

Turno 63 – A1 - Tá no plural.

Turno 64 – A5 - Então, o da gente também tá errado.

Turno 65 – A1 - A gente tá falando só da segunda força. No caso, a gente tá falando da força que o bloco exerce sobre o dedo.

Turno 66 – C3 - Ai gente...

Turno 67 – A3 - Uma força de mesma intensidade e direção, mas em sentido oposto.

Turno 68 – A1 - Isso.

Turno 69 – C3 - Em sentido oposto.

Turno 70 – A5 - Ah, então, o da gente também tá errado.

Turno 71 – C3 - É só tirar o "s".

Turno 72 – Professor - Então, por favor, que vocês entrem num consenso e corrijam o argumento de vocês.

Turno 73 – B2 - Vocês acham que deve apagar onde?

Turno 74 – A1 - O "que" também.

Turno 75 - A4 - Ué, mas...

Turno 76 – A1 - É isso. Eu acho que tem a palavra "que" duas vezes.

Turno 77 – A3 - Pode apagar com o dedo, A1.

[risos]

Turno 78 – C1 – A3 não deixar passar nada, rapaz.

[risos]

Turno 79 – A3 - É porque é detalhe.

[risos]

Turno 80 – A3 - Se passar o apagador ali apaga tudo.

Turno 81 – Professor - Então, tá todo mundo de acordo com esse argumento coletivo?

[Cochichos na sala.]

Turno 82 – Professor - Pronto, então, eu quero agora que vocês me expliquem, dentro daquele argumento que vocês elaboraram, o que é cada... é... trecho, ou seja, quem são os elementos desse argumento que vocês construíram? Vamos lá, quem pode começar?

Turno 83 – B2 - O que?

Turno 84 – Professor - Pode ser qualquer um. Eu quero que vocês identifiquem os elementos do argumento.

Turno 85 – A4 - "Se um dedo aplica uma força sobre o bloco" é os dados.

Turno 86 – C1 - Os dados.

Turno 87 – A1 - "Com certeza" é o qualificador.

Turno 88 – A4 - É.

Turno 89 – Professor - É... o qualificador serve pra que? Diga, C4.

Turno 90 – C4 - Pra sustentar a conclusão?

Turno 91 – Professor - Alguém...

Turno 92 – A1 - Seria meio que pra dar uma ênfase, tipo, "com certeza".

Turno 93 – A4 - Enfatizar.

Turno 94 – A5 - Pra dar mais peso àquilo.

Turno 95 – A1 - Ou, então, "nunca". Ou, então...

Turno 96 – Professor - Aí, então, quero saber de vocês, cês usam ali, então, como o qualificador qual termo?

Turno 97 - Alguns estudantes - "Com certeza".

Turno 98 – Professor - Esse qualificador escolhido, ele foi escolhido, definido por vocês baseado em que? Por que vocês chegaram a essa, vamos dizer, essa conclusão que o "com certeza" seria o qualificador do argumento de vocês?

Turno 99 – A1 - Porque a Terceira Lei de Newton fala que pra todo par de forças, no caso, o par de ação e reação, né, pra todo par, ele vai ter a intensidade igual,

direção igual e sentido oposto. Então, já que é pra todo, então, vai ser sempre. Então, ele "com certeza", isso vai acontecer.

Turno 100 – Professor - É isso, C4? Você concorda?

Turno 101 – C4 - Uhum.

Turno 102 – Professor - Alguém discorda ou gostaria de fazer um comentário pra contribuir também com a fala do companheiro A1? A4, é isso mesmo?

Turno 103 – A4 - Sim.

Turno 104 – Professor - Pronto. Então, dando continuidade, os outros elementos. Patrícia falou dos dados, não é isso? A1 falou do qualificador. Quem pode continuar? C1. Qual outra parte do argumento, C1, que você identifica pra mim, por favor?

Turno 105 – C1 - "Já que trata-se de um par de ação e reação".

Turno 106- Professor - Quando se fala "já que trata-se de um par de ação e reação", você está se referindo a qual elemento do layout?

Turno 107 – C1 - Justificativa.

Turno 108 – Professor - E qual o papel... a função da justificativa dentro do argumento?

Turno 109 – A5 - Sustentar a conclusão.

Turno 110 – Professor - Diga, A5.

Turno 111 – A5 - Hã?

Turno 112 – Professor - Pode falar.

Turno 113 – A5 - Sustentar a conclusão. Não é?

Turno 114 – Professor - É isso, gente?

Turno 115 – C1 - Sim.

Turno 116 – Professor - Quem concorda?

Turno 117 – C1 - Sim.

Turno 118 – Professor - Quem discorda?

Turno 119 - A5 - batendo palmas - Bora, gente!

Turno 120 – Professor - Quem pode identificar outro elemento, por favor? Vamos lá.

Turno 121 – A4 - Vai, identifica o elemento como sendo...

Turno 122 – A5 - Eu já... "Que é garantido" ali.

Turno 123 – Professor - Que é garantido o que? O que é que tá escrito lá?

Turno 124 – A5 - "Pela Terceira Lei de Newton".

Turno 125 – A1 - "Terceira Lei".

Turno 126 – Professor - E isso, dentro do argumento, se refere a qual elemento do layout?

Turno 127 – A5 - Fundamentos.

Turno 128 – Professor - Então, a gente tem os dados, o qualificador, mais o que?

Turno 129 – A5 - A justificativa.

Turno 130 – A4 - Esqueceu da conclusão.

Turno 131 – A1 - Falta a conclusão aí.

Turno 132 – Professor - O que é a conclusão?

Turno 133 – A3 - "Então exerce uma força sobre o dedo de mesma intensidade, direção, mas em sentido oposto".

Turno 134 – Professor - Existe mais algum elemento contemplado aí, do layout? Que vocês gostariam de citar?

Turno 135 - A4 - Não.

Turno 136 – Professor - Então, esse é o argumento coletivo de vocês. Não é isso?

Turno 137 - Alguns estudantes - Sim.

Turno 138 – Professor - Então, a gente encerra o problema 2.

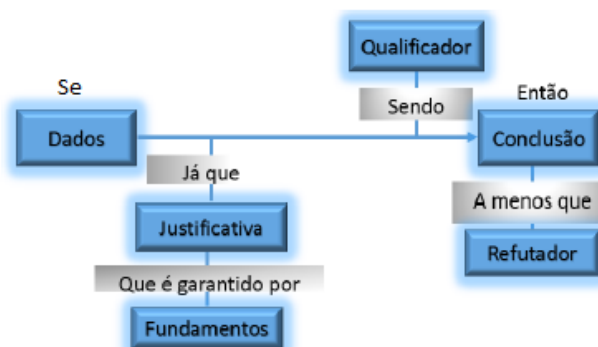
[Conversas simultâneas na sala.]

Turno 139 – Professor - Pronto. Manda pra mim aí... Beleza?

Apêndice C - Roteiro sobre o modelo de Toulmin

MODELO DE ARGUMENTO_ROTUIRO

Figura 1: Modelo de Toulmin.



Fonte: Adaptado de Teixeira 2010.

O modelo de Toulmin é constituído de elementos lógicos básicos (Figura 1). Ademais, associado aos elementos constituintes do *modelo* de Toulmin, serão descritas algumas questões que contribuem na construção de argumentos (SILVA, 2012), a saber:

Dados (D): fatos a partir dos quais se chega a uma conclusão. O(s) dado(s), sem necessariamente remeter-se a uma ideia empirista, pode ser uma afirmativa que seja aceita em um determinado campo.

A PARTIR DE QUAL INFORMAÇÃO INICIAL SE CONSTROI UM ARGUMENTO?

QUAL A INFORMAÇÃO INICIAL?

QUAIS OS DADOS QUE VOCÊ TEM?

Conclusão (C): afirmação realizada a partir dos **D**. Tese defendida, que precisa estar apoiada por um **D** para possuir mérito (SANTOS, 2017).

O QUE VOCÊ ESTÁ TENTANDO PROVAR?

O QUE VOCÊ QUER/PRETENDE?

O QUE VOCÊ ESTÁ DEFENDENDO?

QUAL É A SUA CONCLUSÃO?

Justificativa (J): de natureza hipotética e geral, estabelece relação entre os **D** e a **C**. Entre outros termos, **J** possui a capacidade de legitimar a passagem entre **D** e a **C**.

POR QUE OS DADOS CONDUZEM A ESSA CONCLUSÃO?

DE POSSE DESSES DADOS, QUAL A JUSTIFICATIVA PARA SUA CONCLUSÃO?

DE POSSE DOS DADOS, QUAIS AS RAZÕES QUE TE LEVAM A ESSA CONCLUSÃO?

QUE IDEIA GERAL ESTABELECE A PASSAGEM ENTRE **D** E **C**?

Fundamentos (F): informações factuais que dão suporte à **J**. Em outros termos, representa uma credencial para o estabelecimento de **J**. O **F** é campo-dependente, isto é, depende do campo de conhecimento ao qual está se argumentando. Na área de ciências **F** estão associados a leis e teorias aceitas pela comunidade científica (TEIXEIRA et al., 2015).

POR CONTA DE QUÊ?

O QUE FUNDAMENTA A JUSTIFICATIVA?

O QUE VALIDA/AUTORIZA A JUSTIFICATIVA?

Qualificador modal (Q): termo utilizado para moderar e/ou reforçar **C**, com a função de qualificar **C**. Em outras palavras, **Q** é uma condição específica no argumento que se pode considerar como válida a conclusão (TEIXEIRA et al., 2015).

É CERTO, NECESSÁRIO OU POSSÍVEL, PROVÁVEL?

Refutador (R): específica sobre quais circunstâncias **J** não é válida para dar suporte à **C**, isto é, **R** indica as particularidades que levam a perda de autoridade da **J**, as quais ela deixa de ser aceita, assim **C** não pode ser autorizada por **D**.

HÁ ALGUMA SITUAÇÃO EM QUE SEU ARGUMENTO NÃO SE SUSTENTA?

O QUE VOCÊ PODERIA DIZER PARA TORNAR A ALEGAÇÃO ERRADA?

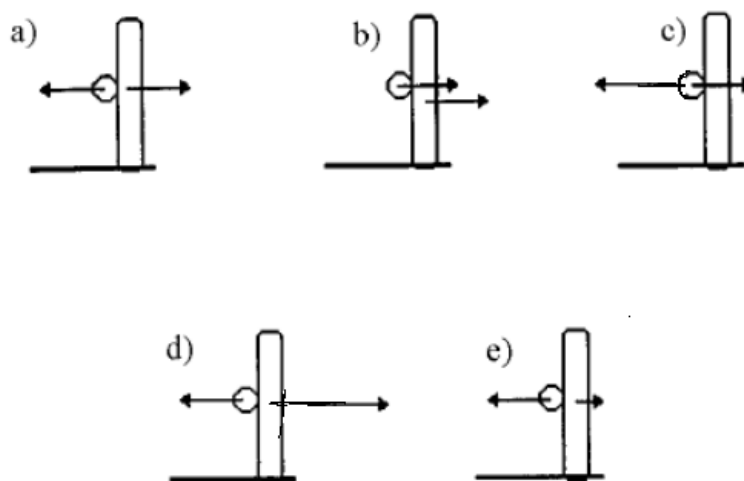
Podemos resumir um argumento da seguinte forma: **J**, uma vez aprovado por **F**, autoriza **C**, obtido a partir de **D**, sendo considerada **Q**, a menos que haja **R**. Portanto, um argumento descrito dentro do *modelo* de Toulmin, em que cada

elemento que o constitui cumpre seu papel, deve ser definido como um argumento coerente (TOULMIN, 2006).

Apêndice D - Pré-teste para avaliação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre a terceira lei de Newton

1. Uma bola de tênis é arremessada contra uma parede. Marque a alternativa que melhor representa o par de força(s), ação e reação, que atua(m) no sistema, durante a colisão, devido apenas à interação entre a bola e a parede (TALIM, 1999). Justifique sua resposta.

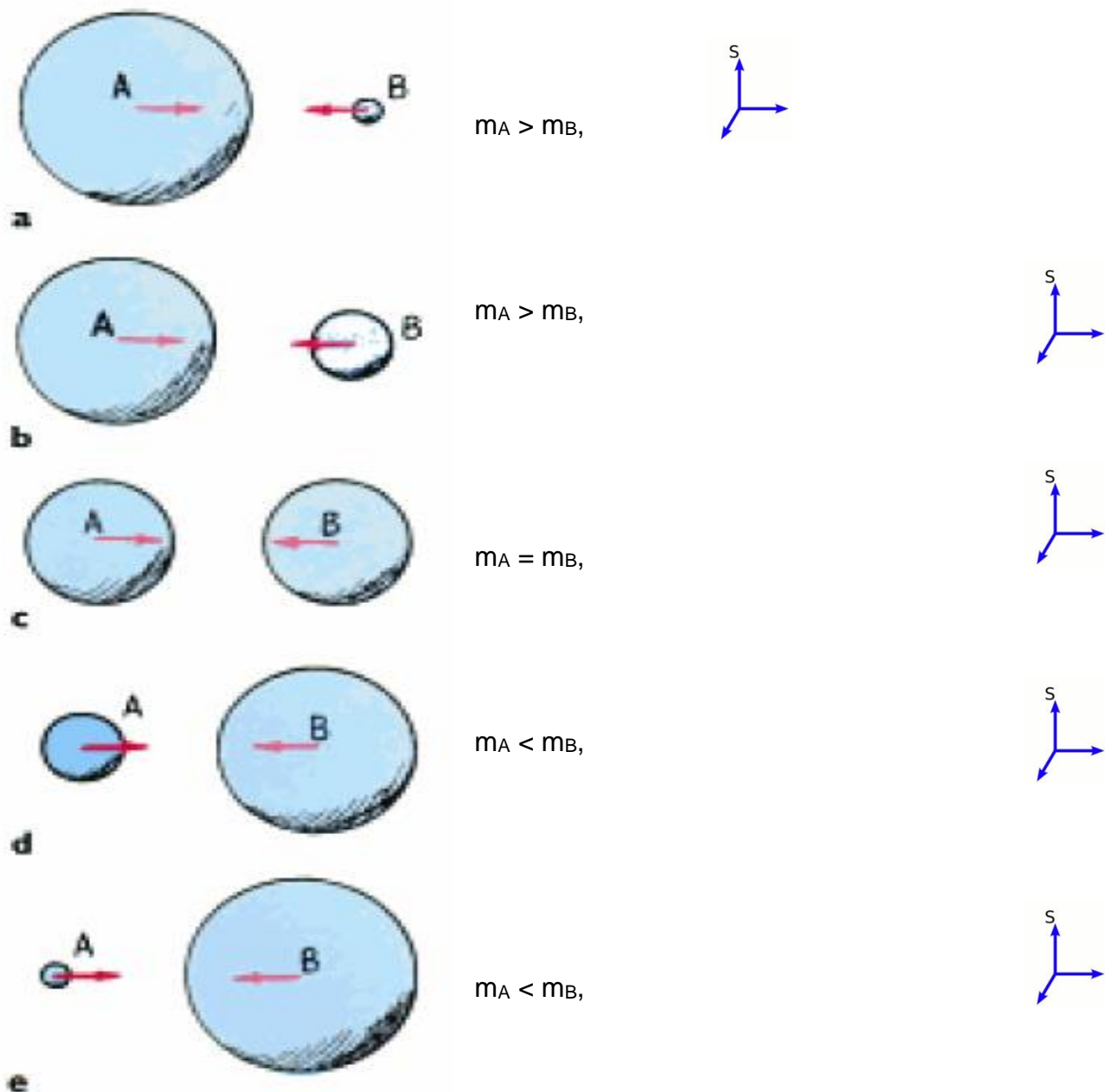
Observação: A seta que indica a(s) força(s), possuem tamanhos diferentes a fim de exemplificar sua intensidade, ou seja, setas com o mesmo tamanho representam forças iguais, com tamanhos diferentes representam forças com intensidades diferentes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

2. Considerando o item anterior, um estudante de física fez a seguinte afirmativa: “A ação (que é a força da bola sobre a parede) acontece antes da reação (que é a força da parede sobre a bola); a reação é uma consequência da ação, por isso acontece depois”. Comente a afirmativa deste estudante e apresente as justificativas para sustentar seu comentário.

3. Considere um sistema composto apenas por duas massas, A e B, interagindo simultaneamente. Desprezando a atuação de outros corpos e supondo-se que você está sobre o sistema de referência, S, determine, em cada uma das situações ilustradas abaixo, qual das bolas, A ou B, cai em direção à outra. (Adaptado de HEWITT, 2002, p. 88). Justifique cada uma das suas respostas.

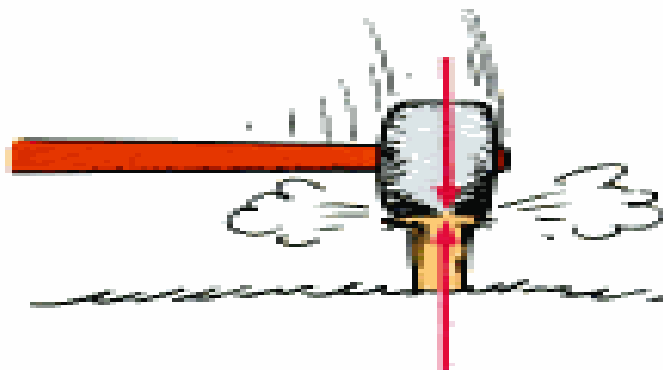


4. Se uma mosca colidir com o para-brisa de um ônibus em movimento rápido, quem sofre uma força com maior intensidade? (SERWAY, 2014, p. 111). Justifique sua resposta.

5. Considere um corpo de massa, m , em queda livre próximo da superfície da Terra. Identifique as forças de ação, F_A , e reação, F_R , atuando sobre o corpo ao longo de seu movimento de queda livre. Justifique sua resposta.

Observação: Considere apenas a interação entre o corpo e a Terra.

6. Na interação entre o martelo e o prego, um deles exerce uma força sobre o outro. Qual exerce a força e qual sofre a ação desta força? Justifique sua resposta.



Fonte: (HEWITT, 2002, p. 86).

7. Num dia frio, chuvoso, a bateria de seu carro não funciona e você tem de empurrar o veículo para movimentá-lo até que o motor funcione. Por que você não pode colocar o carro em movimento permanecendo sentado confortavelmente no banco e empurrando contra o painel de instrumentos do veículo?

8. Tomando como exemplo o sistema Terra-Lua e com base em seus conhecimentos a respeito da terceira lei de Newton, explique por que a Lua se mantém em sua órbita e não cai em direção a Terra, já que a Terra está atraindo a Lua.

9. Durante uma faxina, a mãe pediu que o filho a ajudasse, deslocando um móvel para mudá-lo de lugar. Para escapar da tarefa, o filho disse ter aprendido na escola que não poderia puxar o móvel, pois se puxar o móvel, o móvel o puxará igualmente de volta, e assim não conseguirá exercer uma força que possa colocá-lo em movimento.

Qual argumento a mãe utilizará para convencer o garoto de que ele é capaz de colocar o móvel em movimento? Justifique a sua resposta.

- a) A força de ação é aquela exercida pelo garoto.
- b) A força resultante sobre o móvel é sempre nula.
- c) As forças que o chão exerce sobre o garoto e sobre o móvel se anulam.

- d) A força de ação é um pouco maior que a força de reação.
- e) O par de forças de ação e reação não atua em um mesmo corpo.

10. Uma pessoa necessita da força de atrito aplicada em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de atrito exercida pelo chão em seus pés.

Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de atrito mencionada no texto? Justifique a sua resposta.

- a) Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- b) Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.
- c) Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- d) Horizontal e no mesmo sentido do movimento.
- e) Vertical e sentido para cima.

11. Descreva, utilizando suas palavras, o que você entende a respeito da terceira Lei de Newton. Caso ache necessário, ilustre com um desenho.

Apêndice E - Turnos de fala que contém o episódio argumentativo analisado que envolveu a construção do argumento coletivo elaborado pelos grupos A para resolver o problema 1 sobre a terceira lei de Newton

Turno 1 – Professor - Problema 1, Terceira Lei, momento 3, 21 de novembro de 2019, grupo A.

Turno 2 – A1 - Grupo A.

Turno 3 – A4 - Esse é o momento 3, já? Então, né? O professor pediu para falar alto.

Turno 4 – A5 - Ô gente.

Turno 5 – A4 - Quem sofre uma força com maior intensidade, A5?

Turno 6 – A5 e A1 - O pássaro e a carruagem.

Turno 7 – A5 - A gente já falou isso, não?

Turno 8 – A4 - Você concorda com... A gente falou... o tema é esse.

Turno 9 – A1 - Não falou isso não.

Turno 10 – A5 - É que eles são simultâneos.

Turno 11 – A1 - Não, mas aí é a intensidade.

Turno 12 – A5 - Mas...

Turno 13 – A4 - A intensidade é a mesma, não?

Turno 14 – A5 - A intensidade vai ser a mesma.

Turno 15 – A4 - Poxa, gente, é pra criar o argumento. Cadê o papel?

Turno 16 – A5 - Cadê o papel, A2?

Turno 17 – A2 - Que menino é esse?

Turno 18 – A4 - Aqui o papel.

Turno 19 – A5 - É, escreve no fundo. Cadê o lápis, Miria? Cadê sua voz?

Turno 20 – A3 - Que menino é esse?

Turno 21 – A5 - Pô, é difícil, gente, é difícil o coleguinha.

Turno 22 – A3 - Alguém vai escrever?

Turno 23 – A4 - Pode escrever.

Turno 24 – A5 - Tu, né?

Turno 25 – A4 - Eu sei isso que cê tá falando, mas...

Turno 26 – A5 - Minha letra é horrível.

Turno 27 – A4 - Muitas coisas no quadro.

Turno 28 – A1 - Vamos lá.

Turno 29 – A5 - Agora é a vez de A2.

Turno 30 – A4 - É verdade.

Turno 31 – A3 - Se um...

Turno 32 – A4 - Pássaro.

Turno 33 – A5 - Uma carroça.

Turno 34 – A4 - Colide...

Turno 35 – A5 - Não.

Turno 36 – A4 - É, se um pássaro colide com um...

Turno 37 – A5 - Com a carruagem.

Turno 38 – A4 - Precisa colocar esse enunciado todo que ele colocou aqui? Cheio de folha, de detalhe... [risos]

Turno 39 – A3 - Se um pássaro colide...

Turno 40 – A2 - Com a carruagem.

Turno 41 – A4 - Frontalmente com a carruagem ou com uma carruagem.

Turno 42 – A5 - Mas aqui é no sentido oposto. Do movimento, no caso.

Turno 43 – A4 - É isso que tô te falando. Ele colocou várias informações no enunciado da questão, mas...

Turno 44 – A1 - Se um pássaro colide com uma carroça...

Turno 45 – A4 - Frontalmente. Se tá colocando os detalhes aqui.

Turno 46 – A1 - Frontalmente. É.

Turno 47 – A4 - Carruagem. Pra ficar mais [inaudível - 00:01:50].

Turno 48 – A1 - É o que tá no exemplo, não é o que [inaudível - 00:01:53].

Turno 49 – A5 - Mas é porque é carruagem, não é carroça.

Turno 50 – A4 - Bota essa questão da velocidade? Coloca, só um detalhe, mas...

[risos]

Turno 51 – A4 - No texto, ele coloca qualificador?

Turno 52 – A3 - Tá. Se um pássaro colide com uma carruagem...

Turno 53 – A1 - Com certeza.

Turno 54 – A3 - Frontalmente, com velocidade constante...

Turno 55 – A4 - Então, com certeza...

Turno 56 – A1 - Que é pra todas as...

Turno 57 – A2 - Não sei. Como que tu acha melhor uma concordância do português?

Turno 58 – A5 - É, a gente não entende disso não.

[risos]

Turno 59 – A5 - Todo mundo burro em português.

[risos]

Turno 60 – A4 - Então, com certeza...

Turno 61 – A1 - Fala mais alto, gente.

Turno 62 – A4 - Então, com certeza...

Turno 63 – A5 - A intensidade...

Turno 64 – A4 - Será a mesma.

Turno 65 – A5 - Será a mesma.

Turno 66 – A4 - Intensidade da força.

Turno 67 – A3 - É importante salientar que é da força, né?

[risos]

Turno 68 – A4 - Pode ser de qualquer outra coisa.

Turno 69 – A5 - Sim.

Turno 70 – A1 - Sobre os dois corpos.

Turno 71 – A4 - São iguais.

Turno 72 – A1 - Sim, é isso.

Turno 73 – A5 - Pode continuar.

Turno 74 – A3 - A intensidade da força sobre os dois corpos...

Turno 75 – A4 - É.

Turno 76 – A1 - É igual. São iguais. Tanto faz. A intensidade das forças sobre os dois... das forças. Sobre os dois corpos é igual. São iguais.

Turno 77 – A4 - A gente já escreveu isso aqui.

Turno 78 – A5 - Já acabou.

Turno 79 – A1 - Nossa.

Turno 80 – A4 - Já que... Já que...

Turno 81 – A3 - A gente coloca o...

Turno 82 – A5 - A gente poderia considerar sua infinidade, não?

Turno 83 – A3 - Não. Mas não entendo como infinidade não.

Turno 84 – A1 - É intensidade.

Turno 85 – A5 - Mas, por que intensidade é a mesma? É uma quantidade de movimento? A gente vai colocar o que como justificativa?

Turno 86 – A2 - A mesma coisa que a carruagem exerce no pássaro, o pássaro exerce na carroça.

Turno 87 – A1 - O pássaro exerce na carroça.

Turno 88 – A4 - Mas, a justificativa pode colocar assim "já que...".

Turno 89 – A1 - Para toda força aplicada, há um força de mesma intensidade, sentido contrário. E mesma direção.

Turno 90 – A4 - Direção contrária.

Turno 91 – A5 - Direções opostas.

Turno 92 – A4 - Mesmo sentido...

Turno 93 – A1 - É sentido contrário.

Turno 94 – A3 - É sentido contrário. É. Direção.

Turno 95 – A1 - A direção é a mesma.

Turno 96 – A4 - Ah é, é a mesma.

Turno 97 – A1 - Eu já tô ficando doido com isso, ontem li no banco, aí depois em casa lendo o texto. [risos]

Turno 98 – A4 - E aí, o negócio ajudou?

Turno 99 – A1 - Ajudou. Deu pra dar um...

Turno 100 – A4 - Já que... como foi que tu começou?

Turno 101 – A1 - À toda força aplicada...

Turno 102 – A4 - Quando... Eu só consigo lembrar aquele: quando ocorre as interações entre os corpos... [risos]

Turno 103 – A3 - Já que toda força aplicada.

Turno 104 – A1 - Toda força aplicada sobre um corpo, há uma força contrária...

Turno 105 – A4 - Com mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos.

Turno 106 – A3 - Já que toda força aplicada sobre um corpo sofre...

Turno 107 – A4 - Aí tá estranho. Porque ação e reação não são no mesmo corpo, são em corpos distintos. Né?

Turno 108 – A1 - Já que à toda força aplicada sobre um corpo há uma força contrária...

Turno 109 – A4 - Quando ocorre interação entre corpos, acho que fica melhor. Tenta igual o texto. Mas, é porque não é sobre um corpo. Entende?

[risos]

Turno 110 – A1 - Mas aí o corpo reage, é, tipo, o corpo reage, seria isso, mas...

Turno 111 – A4 - Hã...

Turno 112 – A1 - Poderia, tipo, à toda força aplicada sobre um corpo há uma força contrária. Tipo, não tá contrário a isso. Não tá errado.

Turno 113 – A5 - Uhum.

Turno 114 – A1 - Então, tipo, existe uma força. Não necessariamente onde é, não tá dizendo onde é. Cê só vai tá... no seu caso, já tá definindo onde é. Que a gente sabe que é uma no corpo, a outra é no outro.

Turno 115 – A4 - Já que o que mesmo?

[risos]

Turno 116 – A3 - Já que à toda força aplicada sobre um corpo há uma força contrária a ele. Estranho...

Turno 117 – A1 - De mesma intensidade.

Turno 118 – A4 - Uma força contrária de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos. Acho que o "a ele" que ficou meio estranho, não?

Turno 119 – A3 - Mesma intensidade...

Turno 120 – A4 - Porém, com sentidos opostos.

Turno 121 – A1 - Mesma direção.

Turno 122 – A4 - É, e sentidos opostos.

Turno 123 – A1 - E sentidos opostos. Que é fundamentado por... pela Terceira Lei de Newton.

Turno 124 – A2 - Lei da ação e reação.

Turno 125 – A4 - Isso é o que?

[risos]

Turno 126 – A5 - Acho que o problema do grupo sou eu.

[risos]

Turno 127 – A3 - Tá. Se um pássaro colide com uma carruagem frontalmente, com velocidade constante, então, com certeza, a intensidade das forças sobre os dois corpos é igual. Já que à toda força aplicada sobre um corpo, há uma força contrária, de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, que é fundamentada pela Terceira Lei de Newton. Pronto.

Turno 128 – A4 - Mas não tem refutador.

Turno 129 – A5 - Acabou a aula. Dá pause.

[risos]

Apêndice F - Turnos de fala que contém o episódio argumentativo analisado que envolveu a construção do argumento coletivo elaborado pelos grupos A para resolver o problema 1 sobre a terceira lei de Newton

Turno 1 – Professor - Momento 3, Terceira Lei, problema 1, da carruagem, pequeno grupo, grupo?

Turno 2 - Todos - Um.

Turno 3 - Professor - Grupo 1 em 21 de novembro de 2019 com B4, B1, B2 e B3.

Turno 4 – B2 - Hoje dá pra fazer, né?

Turno 5 – B4 - Se...

Turno 6 – B2 - Uma carroça exerce uma força sobre o pássaro, o pássaro exerce uma carroça sobre... ô! O pássaro...

[risos]

Turno 7 – B4 - Se a carroça...

Turno 8 – B2 - Fala baixo. Depois tem que falar aqui, né?

Turno 9 – B1 - É.

Turno 10 – B2 - Exerce uma força sobre o pássaro, o pássaro exerce uma força sobre a carroça.

Turno 11 – B1 - Já que?

Turno 12 – B2 - Formam um par ação e reação.

Turno 13 – B1 - Não entendi.

Turno 14 – B2 - Já que formam um par ação-reação, no caso.

Turno 15 – B1 - É.

Turno 16 – B4 - “Também exerce”, né?

Turno 17 – B2 - É. Era pra ser isso ou então o “com certeza”, que é a conclusão.

Turno 18 – B4 - Ah...! Exerce uma força sobre a...

Turno 19 – B2 - Carroça.

Turno 20 – B4 - É carruagem, moço. Depois a gente troca. Se a carroça exerce uma força sobre o pássaro, então...

Turno 21 – B2 - É a mesma parada do martelo. Quem anda cometendo o martelo, a do martelo é bem elaborado. Alguém tirou foto?

Turno 22 – B1 - Do...?

Turno 23 – B2 - Danou.

Turno 24 – B1 - Do...?

Turno 25 – B2 - Do quadro, da semana passada.

Turno 26 – B3 - Fala sobre isso é?

Turno 27 – B2 - É quase igual.

Turno 28 – B1 - É a mesma coisa... é, quase a mesma coisa.

Turno 29 – B3 - Fala sobre o prego?

Turno 30 – B4 - O papel tava comigo, não foi não?

Turno 31 – B1 - Não. Ah, tava, tinha um que tinha a cópia.

Turno 32 – B3 - Ficou com outro.

Turno 33 - B4 - Esse classificador meu que...

Turno 34 – B2 - Então, aqui tem que trocar, ó. Botar “então, com certeza”.

Turno 35 – B1 - É.

Turno 36 - B2 - Pessoal, fala baixo.

[risos]

Turno 37 – B2 - É isso mesmo. Ó, se uma carroça exerce uma força sobre o pássaro...

Turno 38 – B1 - Então, com certeza...

Turno 39 – B2 - Então, com certeza, o pássaro.... então, com certeza, o pássaro exerce uma força sobre a carroça.

Turno 40 – B4 - “Também”, não?

Turno 41 – B2 - Não, “também” não.

Turno 42 – B1 - Não.

Turno 43 – B2 - Agora bota “já que”.

Turno 44 – B1 - Porque é simultâneo. É, mesma coisa.

Turno 45 – B2 - Agora a gente coloca como, que é um pássaro em ação?

Turno 46 – B1 - Já que... já que o que, B3? Salva nós. [risos]

Turno 47 – B2 - Já que as forças exerciam... não. Tem que ser isso mesmo...

Turno 48 – B3 - Na semana passada, por que não coloca igual?

Turno 49 – B2 - É, tem que justificar agora porque um exerce sobre o outro.

Turno 50 – B3 - Não é que pra toda ação existe uma reação e a intensidade é igual?

Turno 51 – B2 - É, já que...

Turno 52 – B3 - Pra que toda reação...

Turno 53 – B2 - É mesmo. Já que uma força de mesma intensidade, direção e sentido. Pronto, né não?

Turno 54 – B3 - Posso colar o da semana passada.

Turno 55 – B2 - É? Vixe que tu tem que falar alto.

Turno 56 – B3 - O que?

Turno 57 – B2 - Tu tinha que ter falado alto, pra captar o som falando. Né, não?

Turno 58 – B1 - É...

Turno 59 – B3 - Mas eu falei já.

Turno 60 – B2 - Mas você que deu a ideia.

- Turno 61 – B4 - Intensidade, direção e sentido, né?
- Turno 62 – B2 - Direção e sentidos opostos. Que é garantido pela Terceira Lei de Newton.
- Turno 63 – B3 - Colocou o “com certeza”?
- Turno 64 – B1 - Uhum. Vai refutar?-
- Turno 65 – B3 - Vai ser sempre assim?
- Turno 66 – B2 - Não. Se a gente refutar e dizer que não age, a gente nega a Lei, aí não pode negar a Lei.
- Turno 67 – B1 - Não pode negar a Lei.
- Turno 68 – B2 - Eu fazia isso direto.
- Turno 69 – B4 - Era mesmo. No início, a gente sempre se lascava nisso.
- Turno 70 – B2 - Agora leia aí.
- Turno 71 – B4 - Vai, B3.
- Turno 72 – B3 - Eu não.
- Turno 73 – B2 - Leia, B3. Tem pegar sua voz também.
- Turno 74 – B4 - Se.. se a carroça exerce uma força sobre o pássaro, então, com certeza, o pássaro exerce uma força sobre a carroça, já que é uma força de mesma intensidade, direção e sentido... e sentidos opostos, que é garantido pela Terceira Lei de Newton. Pronto.
- Turno 75 – B2 - Tá bom.
- Turno 76 – B1 - Só isso? Vai acrescentar mais alguma coisa?
- Turno 77 – B2 - Acho que não. Vai refutar? O refutador tem que corrigir. Tem que corrigir na justificativa, né?
- Turno 78 – B1 - É.
- Turno 79 – B2 - Que é uma força de mesma intensidade e direção... não tem como negar isso aqui.
- Turno 80 – B1 - O refutador... não. Que nem como tu falou, vai tá...
- Turno 81 – B2 - Negando o próprio sentido da Lei.
- Turno 82 – B1 - É. Então...

Apêndice G - Turnos de fala que contém o episódio argumentativo analisado que envolveu a construção do argumento coletivo entre os grupos com mediação do professor para resolver o problema 1 sobre a terceira lei de Newton

Turno 1 - Professor - Dando continuidade, então, após os pequenos grupos, com relação ao exemplo da carruagem. Então, os grupos A, B e C se reuniram, discutiram, né, e responderam o problema elaborando um argumento, que tá no quadro. Então, vou pedir pra cada... algum membro de cada grupo possa ler, né, pra todo mundo ouvir. Grupo B, por favor.

Turno 2 – B4 - Se uma carruagem exerce uma força sobre o pássaro, então, com certeza o pássaro exerce uma força sobre a carroça, já que é uma força de mesma intensidade, direção e sentidos opostos, que é garantido pela Terceira Lei de Newton.

Turno 3 - Professor - Grupo C agora, por favor. Pode ler o argumento referente a eles? Por favor, vamos lá.

Turno 4 – A2 - Se uma carruagem e um pássaro colidem frontalmente, ambos com movimento retilíneo uniforme e sentidos opostos, então, a intensidade das forças será a mesma, já que se trata de um par ação e reação, que é garantido pela Terceira Lei de Newton, a qual diz que "para toda ação há uma reação com força de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos."

Turno 5 - Professor - Agora algum membro do grupo A, por favor, pode ler o argumento coletivo de vocês? O argumento do pequeno grupo de vocês?

Turno 6 – A4 - Se um pássaro colide com uma carruagem frontalmente com velocidade constante, então, com certeza, a intensidade da força sobre os dois corpos é igual, já que toda força aplicada sobre um corpo, há uma força contrária de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, que é fundamentado pela Terceira Lei de Newton.

Turno 7 - Professor - Pronto. Então, a gente vai continuar o processo agora...

[risos]

Turno 8 - Professor - Comparando e analisando, todo mundo, cada argumento elaborado pelos grupos, tá bom assim? Então, mesmo... a gente vai começar pelo grupo A, né? A gente começando pelo grupo A, mas os outros membros de todos os outros grupos como os membros do grupo A podem também refletir sobre o argumento de vocês, tudo bem? Então, o grupo A já leu o argumento de vocês...

[risos]

Turno 9 – A1 - Misericórdia.

[risos]

Turno 10 - Professor - Então, é... analisem e leiam novamente aqui a resposta do grupo A, a resposta do grupo A e, por favor, eu quero que vocês analisem e discutam o argumento do grupo A.

Turno 11 – C1 - É só do grupo A, A1.

[risos]

Turno 12 - Professor - Qual é a questão? Quem pode lembrar pra mim a questão, ler em voz alta por favor?

Turno 13 – C1 - Quem sofre uma força com maior intensidade - o pássaro ou a carruagem?

Turno 14 - Professor - Então, esse é o argumento do grupo A. Cês gostariam... Quem gostaria de fazer alguma consideração a respeito desse argumento?

Turno 15 – A4 - Por que começou do A?

[Cochichos na sala.]

Turno 16 - Professor – B2, grupo A.

Turno 17 – B2 - Ah tá. Já li.

Turno 18 – A1 - Eu tiraria "com velocidade constante", lendo de novo.

Turno 19 - Professor - Então, a consideração que A1 faz é que ele tiraria a informação que tem ali... essa velocidade constante, A1, do argumento do grupo A se refere a que elemento do layout?

Turno 20 – A4 - Grupo A?

Turno 21 – A1 - Tá nos dados, né, mas acho irrelevante ele estar com velocidade constante.

Turno 22 - Professor - Alguém concorda com A1? Alguém discorda de A1? Ninguém concorda nem discorda.

[risos]

Turno 23 - Professor - Alguém gostaria de fazer outra consideração em relação ao argumento do grupo A? C4. Leu o argumento, C4?

Turno 24 – C4 - Li.

Turno 25 - Professor - O que é que você acha, C4? Ou seja, o grupo A, ele consegue responder a questão proposta pelo problema 1? B2.

Turno 26 – B2 - Eu acho que sim.

Turno 27 - Professor - Cê acha que sim? B1.

Turno 28 – B1 - Eu acho que sim.

Turno 29 - Professor - Alguém tem alguma colocação? A ponto de discordar ou agregar ao argumento grupo A? C2.

Turno 30 – C2 - Não.

Turno 31 - Professor - Então, de acordo com o argumento do grupo A, segundo o que tá descrito no quadro: "Se um pássaro colide com uma carruagem frontalmente, com velocidade constante, então, com certeza, a intensidade da força sobre os dois corpos é o que? Iguais. Já que toda força aplicada sobre um corpo, há uma força contrária de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, que é fundamentada pela Terceira Lei de? Newton." Então, ninguém tem nenhuma consideração a fazer com relação... mais nenhuma consideração a fazer com relação ao argumento do grupo A? Todo mundo concorda ou alguém discorda que eles conseguem responder a questão proposta pelo problema?

Turno 32 – A4 - Sim.

Turno 33 - Professor - Então, em outras palavras, quem poderia me dizer qual a resposta que eles dão para o problema a partir desse argumento? Não se esqueçam que a questão é: Quem sofre uma força com maior intensidade - o pássaro ou a carruagem? Hein, B2?

[Uma pessoa entra na sala.]

Turno 34 - Alguns estudantes - Boa tarde.

[risos]

Turno 35 - Professor - Hein, gente, alguém tem alguma consideração em relação ao grupo A? Gente, por favor, vocês precisam ler o argumento pra poder tecer algumas considerações. Se não fizer isso, não consegue. Beleza? Então, vamos partir pro grupo B. Esse é o argumento do grupo B. Por favor, leiam e discutam alguma consideração a fazer sobre o mesmo.

[Silêncio na sala.]

Turno 36 - Professor - Todos leram o argumento do grupo B? Então, todos, incluindo os membros do grupo B, né, diante da discussão até então realizada, quem tem alguma consideração pra fazer sobre o argumento do grupo B?

Turno 37 – A4 - Eu acho que eles não respondem, pelo menos de forma clara, quem sofre a maior intensidade. Tipo, assim, porque não sei se falou que...

Turno 38 – A5 - Elas têm a mesma intensidade.

Turno 39 – A4 - A força que o pássaro exerce sobre a carroça...

Turno 40 – C3 - Não.

Turno 41 – A4 - A carruagem exerce uma força sobre o pássaro e o pássaro exerce uma força sobre a carroça, mas ele não falou sobre a intensidade dessas forças. Acho que deveria ter um acréscimo nessa parte.

Turno 42 - Professor - Em termos...

Turno 43 – A4 - Que essas intensidades dessa força são iguais, são diferentes, acho que faltou isso.

Turno 44 - Professor - Mais alguém tem outra consideração a ser feita? Pra incluir... sim, A1.

Turno 45 – A1 - Então, parece que tem três elementos, por exemplo, a carruagem, pássaro, carroça.

Turno 46 – B2 - Tá errado ali.

[risos]

Turno 47 - Professor - Três elementos? Não entendi, seja mais...

Turno 48 – A1 - Carruagem, pássaro e carroça. Parece que, tipo, a carruagem exerceu uma força...

Turno 49 – B2 - É corrigir.

[risos]

Turno 50 – A3 - É que, no negócio aqui tá certo. Lá, ele se equivocou.

[risos]

Turno 51 – A1 - Ah, tá. Não, tudo bem. Mas, então, fiquei com dúvida, tipo, depois do "já que" parece que a frase...

Turno 52 - Professor - "Já que" no layout se refere a qual elemento.

Turno 53 - Estudantes - Justificativa.

Turno 54 - Professor - Como vocês colocam o "já que", estão se referindo a qual elemento?

Turno 55 - Alguns estudantes - Justificativa.

Turno 56 - Professor - Sim, B2, continue.

Turno 57 – B2 - Viu.

Turno 58 – A1 - Depois do "já que" eu achei que não... ficou um pouco sem sentido. "Já que é uma força de mesma intensidade, direção...", tipo, tá parecendo que tá desconexo. Pegou ali e colou, eu não sei.

Turno 59 - Professor - Então, o "já que" se refere a qual elemento do layout?

Turno 60 – A5 e A4 - Justificativa.

Turno 61 - Professor - Hein, gente?

Turno 62 - Alguns estudantes - Justificativa.

Turno 63 - Professor - E qual o papel que vocês atribuem ao "já que" que vocês acabaram de dizer que se refere à justificativa? Dentro do layout. Qual seria a função desse "já que"?

Turno 64 – A4 - Conclusão. Vai ajudar a conclusão.

[Cochichos na sala.]

Turno 65 - Professor - Hein?

Turno 66 – A1 - Tipo assim, a conclusão, que é pra ser a resposta pra pergunta. Pelo que eu entendo do layout. A justificativa deles que é a resposta pra pergunta.

Se a resposta seria, tipo, vocês chegam a concluir de uma for... tipo, é uma força de mesma intensidade... vamos pegar isso. Só que isso é a justificativa deles. E isso era pra ser a conclusão deles, que essas forças teriam a mesma intensidade.

Turno 67 - Professor - Então, cê tá dizendo que a conclusão, que deveria ser a resposta do problema deles, está na justificativa?

Turno 68 – A1 - Isso.

Turno 69 - Professor - Mas, aí eu pergunto mais uma vez: Mas, qual é o papel da justificativa?

Turno 70 – A5 - Mas eu acho que justifica...

Turno 71 - Professor - Diga.

Turno 72 – A5 - Eu acho que tá no lugar correto. Porque a conclusão era pra dizer no sentido da força, no caso, certo. Ai, eu não consigo falar alto. A conclusão, no caso, seria pra dizer a intensidade da força, né isso? Mas, pra explicar isso aí, a gente precisaria falar também sobre a intensidade. Eu acho que a justificativa tá coerente, mas só que tá um pouco confusa. Pelo menos, pra mim. Tá meio desconce...

Turno 73 - Professor - O que é que cê acha, A1, da colocação de A5, depois de sua fala?

Turno 74 – A1 - Eu achei, como eu tinha colocado antes, achei que ficou um pouco... parece que encaixou. Não sei. Porque a gente, tipo, a gente sabe ali, ali aquele pedaço da justificativa de vocês é a parte da Terceira Lei, que fala sobre a questão da aceleração, que a força seria de mesma intensidade e sentido contrário. Sentido contrário e mesma direção. Então, isso aí pegou, tá ali. Mas, assim, do jeito como que tava vindo, sendo montado o argumento, parece que esse pedaço, ele simplesmente foi encaixado ali. "Ah, a gente precisa botar isso". Pronto, aí botou. Na minha visão, não sei como foi a construção. Então...

Turno 75 - Professor - Os membros do grupo B, ou outra pessoa também de outro grupo, claro, gostaria de fazer alguma consideração às falas do colega com relação ao argumento do grupo B? B2?

Turno 76 – B2 - Eu tô pensando assim. Quando a gente fala que se a carruagem exerce uma força sobre o pássaro e o pássaro exerce uma força sobre a carruagem, a justificativa que tem é que essa força é igual, a intensidade dos dois sofre a mesma intensidade.

Turno 77 - Professor - Mas qual a pergunta do problema?

Turno 78 – B2 - Quem sofre uma força com maior intensidade? Se pela Lei, a ação e reação acontece simultaneamente, então, os dois sentem a mesma intensidade simultaneamente.

Turno 79 – A4 - O problema não é o seu...

Turno 80 – B2 - Não sei se tá certo.

Turno 81 – A4 - Não é o seu... tu entendeu a pergunta, mas...

Turno 82 - Professor - Desculpe, C4.

Turno 83 – C4 - Não, o modo como ele falou antes sobre...

[Conversas simultâneas.]

Turno 84 – C4 - É tanto que A1...

Turno 85 – A4 - É porque na conclusão você não colocou a resposta para a pergunta. Outro raciocínio de dizer que as intensidades são iguais, está certo. Entendeu? O problema é que escreveu o argumento que vocês não colocaram na conclusão, que a conclusão é a resposta para a pergunta, que seriam os dados, vocês não colocaram que essa intensidade é...

Turno 86 – A5 - Que é a mesma.

Turno 87 – A4 - Que é a mesma. A ideia de ser a mesma, a gente não tá discordando nisso, é só o momento que você descreveu como foi construído.

Turno 88 – A1 - Como foi construído.

Turno 89 – A4 - Que ficou... é.

Turno 90 – B2 - Entendi.

Turno 91 – A2 - Porque a gente tá dizendo que um pássaro exerce uma força sobre a carroça.

Turno 92 – A5 - Fala alto.

Turno 93 – A4 - Mas não fala que a carroça também exerce uma força sobre o pássaro. Acho que seria isso, não? Porque na pergunta, por exemplo...

Turno 94 – A1 - Não, ele fala nos dados.

Turno 95 – A4 - Na pergunta...

Turno 96 – A1 - Ele fala nos dados isso.

Turno 97 – A4 - Na pergunta ele fala "faz... qual sofre a maior intensidade?" e na conclusão não tá falando sobre a intensidade.

Turno 98 – A1 - Hum. Ele conclui...

Turno 99 – A4 - Se na justificativa aparecer a intensidade, eu concordo com A5 porque de qualquer forma vai aparecer, quando você for justificar sua conclusão, vai aparecer que a intensidade é a mesma, mas na conclusão não responde a pergunta. Para...

Turno 100 - Professor - Os membros do grupo B concordam com as colocações dos colegas? B2, B1, B4 e B3? Hein, B2?

Turno 101 – B2 - Eu entendi.

Turno 102 - Professor - Alguém tem mais alguma consideração a fazer com relação ao argumento do grupo B?

Turno 103 – A5 - Bota no quinze.

Turno 104 – A4 - Bom, e no quinze bota só você na sala.

[risos]

Turno 105 - Professor - Então, continuando agora... vamos... o argumento do grupo C também tá aqui no quadro. Então, vamos ler e tentar analisar o argumento do grupo C. Pode ser, gente? Então, por favor, ó: leiam o argumento do grupo C, que já foi lido em voz alta, pra gente analisar o argumento do grupo C.

[Cochichos na sala.]

[Silêncio na sala.]

Turno 106 - Professor - Todo mundo leu o argumento? Então, quem poderia iniciar, fazendo alguma consideração sobre o argumento do grupo C? A1, que levantou a mão.

Turno 107 – A1 - Acho que o qualificador. Se a gente ler, por exemplo, quando vejo botando "pela Terceira Lei de Newton a qual diz que pra toda ação...", nesse termo aí. "Pra toda ação", ele já tá...meio que botando que "com certeza". Pra toda a força de que eu tiver de uma ação e reação, esse par, eu vou ter essa outra força com a mesma intensidade. Então, é "com certeza". Eles montam o argumento com... usando essa ideia, né, de que, tipo, ó: a intensidade vai ser a mesma, a conclusão tá certíssima... pelo menos, eu acho, né? Não sei. Os dados, certo, pelo que a questão dá. Aí, eu... faltou o qualificador, que eles botam no... tipo, dá pra perceber que tá ali na Terceira Lei, quando eles enunciam, né, a Terceira Lei. "Pra toda ação", tipo, ele já tá definindo que pra... o qualificador, de certa forma, é... já tá aí. Só faltou mensurar, né?

Turno 108 - Professor - Mais alguma colocação?

Turno 109 – A5 - Mas, se você for levar em consideração qual... se levar em consideração o qualificador, o todo, eu acho que, pra mim, já significa dizer que tudo ali vai ser Newton, com certeza aquilo ali vai ter.

Turno 110 – A4 - Mas é isso que ele tá falando.

Turno 111 – A5 - É isso.

Turno 112 – A1 - É o que eu tô falando, tipo, tava ali, mas...

Turno 113 – A5 - Então, se fosse um qualificador...

Turno 114 – A1 - Tá ali, mas não tá como qualificador, entendeu?

Turno 115 – A5 - É isso mesmo. Mas...

Turno 116 – A1 - Ele tá na fundamentação. Ele tá intrínseco ali, mas ali, tipo...

Turno 117 – A5 - Isso.

Turno 118 – A1 - Só pegaria e botava ele, é assim, a gente não botou porque a gente não enunciou a Lei.

Turno 119 – A5 - Mas...

Turno 120 – A1 - Mas, se a gente enunciasse a Lei, a gente estaria, tipo, só confirmando o que a gente falou lá atrás.

Turno 121 – A5 - Que não estava fundamentado.

Turno 122 – A1 - Isso.

Turno 123 – A5 - Sim.

Turno 124 – A1 - Tipo, não é errado fazer isso, entendeu? É quase que pecar por excesso.

Turno 125 – A5 - Só faltou fechar as aspas, mas tudo bem.

[risos]

Turno 126 – A1 - Também, também.

Turno 127 – C1 - Nós aqui, véi! [risos]

Turno 128 – A1 - Mas isso aí é detalhe.

Turno 129 – C1 - Já pensou? Cê ter que ficar pontuando... [risos]

Turno 130 - Professor - Mais alguma colocação, gente? Vamos lá. Membros do grupo C, dentro das colocações feitas... C4, C2, C5, C1, C3.

[Cochichos na sala.]

[risos]

Turno 131 - Professor - O grupo C, no argumento elaborado no pequeno grupo, como tá descrito no quadro, eles conseguem responder a questão que foi colocada no problema?

Turno 132 – A4 - Conseguem.

Turno 133 - Professor - A questão... repete pra mim, por favor.

Turno 134 – C1 - Quem sofre uma força com maior intensidade?

Turno 135 – B2 - O pássaro ou a carroça.

Turno 136 - Professor - Qual a resposta do grupo C?

Turno 137 – A4 - A intensidade será a mesma.

Turno 138 - Professor - Todo mundo concorda, então, que o grupo C consegue responder a questão que foi colocada?

Turno 139 – A5 - Sim.

Turno 140 - Professor - Quem poderia fazer mais alguma consideração com relação a esse argumento do grupo C? Ninguém?

Turno 141 – A5 - Não.

Turno 142 - Professor - Então, todo mundo concorda como o grupo C... o argumento do grupo C? Então, diante dessa discussão de vocês, desse debate, da análise do argumento dos três grupos, né, dos pequenos grupos, eu gostaria que agora vocês discutissem e debatessem, né, diante dessas considerações, elaborassem um argumento coletivo, que representa os três grupos de maneira conjunta. E aí, um ou dois membros, né, do grupo coletivo, que são todos vocês, poderia vir no quadro pra ouvir as considerações dos colegas e, conseqüentemente, né, elaborar o argumento de vocês.

Turno 143 – A5 – B2...

Turno 144 – C1 - Queremos Rafael!

Turno 145 – A5 – B2!

Turno 146 – C1 - Pode ir, B2.

Turno 147 – A5 - Eu acredito em você. Eu acredito em você, B2.

Turno 148 – C1- Vá.

Turno 149 - Professor - Agora, antes de ir pro quadro, alguém, né, poderia, né, é... diante das colocações que foram feitas, elaborar um argumento pra responder essa questão, diante do que foi feito agora?

Turno 150 – B2 - Não concordo não.

Turno 151 - Professor – A4.

Turno 152 – A4 - Não, eu ia falar que acho que o argumento do grupo C, se colocar só o qualificador, ele tá mais completo no sentido, tem mais detalhes. Talvez, alguns... não sei, se são tão necessários pra responder a pergunta, mas...

Turno 153 - Professor - E em suas palavras, como é que você colocaria o argumento do grupo C? Com os ajustes que você disse serem necessários para...

Turno 154 – A4 - Só é necessário o qualificador.

Turno 155 - Professor - Como é que então você elaboraria, como você expressaria esse argumento?

Turno 156 – A4 - A mesma que tá ali, ó: Se uma carruagem e um pássaro colidem frontalmente, ambos com movimento retilíneo uniforme e sentidos opostos, então, com certeza, a intensidade das forças será a mesma, já que se trata de um par ação e reação, que é fundamentado pela Terceira Lei de Newton, a qual diz que para toda ação há uma reação...

Turno 157 - Professor - Então, alguém poderia vir no quadro pra poder escrever o argumento coletivo de vocês, por favor?

Turno 158 – A5 – B2.

Turno 159 - Professor - Bora, B2!

Turno 160 – C1 - Bora, B2! [risos]

Turno 161 – A5 - Eu acredito no seu potencial. Todo mundo está clamando por você.
[risos]

Turno 162 - Professor - Por favor, o argumento é coletivo. Então, B2 vai escrever no quadro, mas todos vocês precisam se manifestar pra isso, tá bom?

Turno 163 – A4 - Se tentarmos colocar assim: [não compreendido - 00:20:30] sobre dois corpos?

Turno 164 – A1 - É.

Turno 165 – A4 - Fica melhor.

Turno 166 – B2 - Fica.

Turno 167 – A1 - Se uma carruagem e um pássaro... pausa?

Turno 168 - Professor - Eu quero... pra tirar foto.

Turno 169 – A1 - Ah.

Turno 170 – B2 - Um pássaro?

Turno 171 – A4 - É.

Turno 172 - Professor - De quem é isso?

Turno 173 – A1 - É meu.

Turno 174 – A5 - It's mine.

Turno 175 – A1 - É que o outro tá descarregando. Cuidado... [risos]

Turno 176 – A3 - Rapaz...

Turno 177 – A4 - Colide frontalmente...

[Cochichos na sala.]

Turno 178 – A4 - Ambos com movimento retilíneo uniforme. Coloca aí [não compreendido - 00:21:08]? [risos]

Turno 179 – C1 - Em sentidos opostos.

[risos]

Turno 180 – B2 - Movimento o que?

Turno 181 – C1 - Retilíneo.

[Cochichos na sala.]

Turno 182 – A1 - Botava MRU.

Turno 183 – A4 - É.

[risos]

Turno 184 – A4 - Então, com certeza.

[Cochichos na sala.]

Turno 185 – A1 - Não, faltou "sentidos opostos".

Turno 186 – A3 - É.

Turno 187 – B2 - Fala aí.

Turno 188 – A1- Volta aí. Apaga isso de..

Turno 189 - Alguns estudantes - Uniforme.

Turno 190 – A3 - E sentidos opostos.

Turno 191 – B2 - Uniforme?

Turno 192 – A1 - E sentidos opostos.

[Cochichos na sala.]

Turno 193 – C1- Então...

Turno 194 – B2 - Peraê.

[risos]

Turno 195 – A1- Então, com certeza.

[Cochichos na sala.]

Turno 196 – A1 - A intensidade das forças.

Turno 197 – A5, C1 e A4 - A intensidade das forças.

Turno 198 – A5 - Será a mesma.

Turno 199 – C1 - Será a mesma.

[Cochichos na sala.]

Turno 200 – C1 - Já que...

Turno 201 – B2 - A mesma ou à mesma?

Turno 202 - Alguns estudantes - A mesma.

Turno 203 – A4 - Sobre os dois corpos. Acho que fica mais...

Turno 204 – C1 - Sobre os dois corpos. Aí bota um pontinho.

Turno 205 – A3 - Um pontinho só.

Turno 206 – C1 - De continuação. Já que, vírgula. Se trata.

Turno 207 – B2 - Que?

Turno 208 – C1 e A1- Se trata.

Turno 209 – A5 - Eu vou botar o suplemento, mas...

Turno 210 – C1- De um par.

[Cochichos na sala.]

Turno 211 – C1- Ação e reação. Não, é Álvaro porque Elias vai ser o...

Turno 212 – A4 - Coordenador pedagógico.

Turno 213 – C5 e C1 - Que é garantido.

Turno 214 – C1- Pela Terceira Lei... a qual diz...

Turno 215 – B2 - Só que aí é Terceira Lei.

Turno 216 - Alguns estudantes - Sim.

[Conversas simultâneas na sala.]

Turno 217 – C1 - Faz a pose aí, B2.

Turno 218 – A1 - Faça a mesma pose das meninas.

[risos]

Turno 219 – A1- Pronto. Termina aí, tá bom.

Turno 220 – A4 - Precisa enunciar não.

Turno 221 – A1 - É. Precisa não.

Turno 222 - Professor - Então, vamos lá, B2, lê aí pra mim, por favor, o argumento coletivo que vocês construíram?

Turno 223 – C1- Deixa eu ler a pergunta.

Turno 224 - Professor - Finalizar esse momento. Faz a pergunta, C1, pra mim, por favor.

Turno 225 – C1- Quem sofre uma força com maior intensidade - o pássaro ou a carruagem? B2, lê!

Turno 226 - Professor – B2, por favor.

Turno 227 – B2 - Se uma carruagem e um pássaro colidem frontalmente, ambos com movimento retilíneo uniforme e sentidos opostos, então, com certeza, a intensidade das forças será a mesma sobre os dois corpos, já que se trata de um par ação e reação, que é garantido pela Terceira Lei de Newton.

Turno 228 - Professor - Pronto, então...

Turno 229 – A1 - É "colidem". Tem que botar um "m" ali.

Turno 230 – A4 - É.

Turno 231 - Professor - Então, a gente finaliza esse momento 2. A gente vai começar a trabalhar outro momento, tá bom?

Apêndice H - Turnos de fala que contém o episódio argumentativo analisado que envolveu a construção do argumento coletivo entre os grupos com mediação do professor para resolver um problema a respeito da Gravitação Universal de Newton

Turno 1 - Professor - Grande grupo, 12 de dezembro de 2019, interação mútua. Vamos lá, então. Então, vocês... foi colocado um problema pra vocês, que eu vou repetir e aí a gente continua. O problema foi o seguinte: Um planeta é percebido em órbita ao redor do Sol. Sabemos que essa órbita é mantida como estável, isto é, o planeta não desvia de sua trajetória curvilínea, elabore um argumento explicando as causas da manutenção dessa órbita, levando em consideração seus conhecimentos a respeito da Terceira Lei de Newton e da gravitação Universal. E aí vocês se reuniram em pequenos grupos, três pequenos grupos, e elaboraram o argumento dos pequenos grupos que estão descritos no quadro. Então, inicialmente eu quero que cada membro desse pequeno grupo possa ler o argumento. Iniciando pelo argumento do grupo B. Por favor, membro do grupo B poderia ler o argumento que vocês elaboraram no pequeno grupo no quadro, por favor?

Turno 2 - B4 - Se um planeta é percebido em órbita ao redor do Sol, então, com certeza ele não é desviado de sua trajetória, já que a ação da força centrípeta é proporcional à massa do planeta e inversamente proporcional ao quadrado da distância, que é garantido pela proposição 7.

Turno 3 - Professor - Agora, algum representante do grupo C poderia ler o argumento elaborado no pequeno grupo, por favor?

Turno 4 - C4 - Se um planeta é percebido em órbita ao redor do Sol, então, com certeza o mesmo não terá sua trajetória curvilínea alterada, já que as forças existentes na interação entre esses dois corpos é simultânea, sendo as mesmas proporcionais à massa de cada corpo, os quais decai com o quadrado da distância entre os centros dos corpos, que é garantido pela Terceira Lei de Newton e pela gravitação universal.

Turno 5 - Professor - Agora um representante, por favor, do grupo A poderia ler o argumento que vocês elaboraram no pequeno grupo?

Turno 6 - A1 - Se um planeta primário é percebido em órbita ao redor do Sol, então, com certeza, ele não desvia da sua trajetória curvilínea, já que a interação entre eles é mútua e a gravidade é constante, que é fundamentada pela composição simples do livro três.

Turno 7 - Professor - Pronto. Pra gente, antes mesmo de começar a comparar os argumentos e analisar os argumentos dos grupos 1, 2 e 3, eu gostaria que os grupos, né, e aí chamasse um representante, mas que vocês pudessem marcar pra

mim o argumento do quadro, os critérios das palavras marcadoras que vocês utilizam pra especificar os elementos do argumento. Beleza? Quero que vocês marquem, riscando em baixo. Então, grupo B, por favor, grupo C e grupo A, um representante... Traz o piloto, B2, por favor.

Turno 8 - C1 - Tem que marcar o "c" do com certeza...

Turno 9 - Professor - B2, grupo B. A1, grupo A. E C4, grupo C. E aí vocês ouçam os colegas dos outros grupos. Beleza?

Turno 10 - C2 - Marcar o "c", é...

Turno 11 - B2 - Sobre o argumento do layout?

Turno 12 - Professor - Eu quero que vocês marquem a palavra que está especificando cada...

Turno 13 - A5 - A1! Ô, A1!

Turno 14 - Professor - ... elemento do layout

Turno 15 - A5 - Bota assim, ó, "d"...

Turno 16 - Professor - Não, não precisa dizer o que é não. Só marcar.

Turno 17 - A5 - Não precisa não? Ah...

Turno 18 - Professor - Não.

Turno 19 - A5 - Mas...

Turno 20 - C1 - "Já que", C4.

Turno 21 - A4 - Ou então, A1...

Turno 22 - C1 - Agora é o... "que é garantido".

Turno 23 - A5 - "Já que" aí. Ali, ó. E "que é fundamentado"

Turno 24 - A4 - "Que é garantido". .

Turno 25 - C2 - A gente botou "que é fundamentado"?

Turno 26 - A5 - Minha vista está ardendo.

Turno 27 - C4 - "Que é garantido" é o mesmo que "fundamentado".

Turno 28 - C2 - Ah tá.

Turno 30 - Professor - Então, todos os grupos, é, marcaram cinco palavras. E são as mesmas palavras: "se", "então", "com certeza", "já que" e "que é fundamentado". Então, eu quero saber o que cada palavrinha dessa representa dentro do elemento do... do layout de..., né, o que é que ele representa... o "se" representa o que?

Turno 31 - Alguns estudantes - Dados.

Turno 32 - Professor - O "então"?

Turno 33 - Alguns estudantes - Conclusão.

Turno 34 - Professor - O "já que"?

Turno 35 - Alguns estudantes - Justificativa.

Turno 36 - Professor - O "com certeza"?

Turno 37 - Alguns estudantes - Qualificador.

Turno 38 - Professor - E o "que é fundamentado"?

Turno 39 - Alguns estudantes - Fundamentos.

Turno 40 - Professor - Pronto. Então, a gente agora vai começar a comparar os argumentos dos pequenos grupos, pra depois, no final, elaborar um argumento coletivo. Tá bom? Então, a gente vai iniciar hoje pelo argumento do grupo B, que tá no quadro.

[risos]

Turno 41 - Professor - E aí eu quero que vocês leiam atentamente o argumento do grupo B, pra que a gente possa comparar com os demais e analisar... tá bom, gente? Vamos lá, todo mundo, por favor, lendo o argumento do grupo B.

[Silêncio na sala.]

Turno 42 - Professor - Todo mundo leu o argumento do grupo B? Pra gente continuar, eu queria fazer uma pergunta para todos e todas. Por favor, prestem atenção. Eu quero que vocês me expliquem o que é que está sendo pedido nesse problema que foi colocado pra vocês. Vamos lá? Hein, A4?

Turno 43 - A4 - Não, tô olhando o texto.

[Cochichos na sala.]

Turno 44 - A5 - As causas da manutenção...

Turno 45 - Professor - Quem pode me responder, por favor? Diga, C5.

Turno 46 - C5 - É... tá pedindo a... pra explicar as causas da manutenção dessa órbita. Então, as características da força que mantém o planeta em órbita.

Turno 47 - A3 - São as características ou o porquê que se mantém em órbita?

Turno 48 - Professor - Então, de acordo com A3... é o que, A3?

Turno 49 - A3 - O porquê que ele mantém em órbita.

Turno 50 - Professor - De acordo com C5...

Turno 51 - A3 - Pra não sair do movimento inercial.

Turno 52 - C5 - Eu falei que seriam as características.

Turno 53 - Professor - Quer dizer... você acha que é a mesma coisa, são coisas diferentes...? Quem mais gostaria de fazer uma colocação com relação a isso?

[Silêncio na sala.]

Turno 54 - Professor - Quando vocês leem o problema, vocês conseguem identificar, por exemplo, alguma parte do elemento, do argumento, dentro layout de tudo que a gente está trabalhando, dentro do próprio problema? Ou... sim ou não? C4.

Turno 55 - C4 - Acho que sim.

Turno 56 - Professor - E quais... quais ou qual parte vocês conseguem identificar aí?

Turno 57 - Alguns estudantes - Os dados.

Turno 58 - Professor - A4.

Turno 59 - A4 - Eu não estava prestando a atenção. [risos]

Turno 60 - A1 - Os dados, a fundamentação teórica...

Turno 61 - C1 - E a conclusão.

[Silêncio na sala.]

Turno 62 - C4 - Tua conclusão ali está... está, não sei, está aqui.

Turno 63 - C1 - É.

Turno 64 - Professor - É o que, C4? Fale mais alto que eu não ouvi.

Turno 65 - A1 - Sim, sim.

Turno 66 - C4 - A conclusão.

Turno 67 - A1 - Mas eu acho que a conclusão da gente não responde. É por isso que eu não... [risos]

Turno 68 - C4 - Ah...

Turno 69 - Professor - Diga, C4, você falou o que, que eu não ouvi?

Turno 70 - C4 - A conclusão... [risos] que está na... no quadro.

Turno 71 - C1 - Foi porque... você perguntou, né, professor, quais eram os dados que estariam aqui, no caso. Aí, a gente falou "os dados, a conclusão e o que é garantido por". Aí, A1 falou que achava que a conclusão não estaria, no caso, nessa perguntinha. Entendeu?

Turno 72 - Professor - Por que você acha isso, A1? Você discorda da colocação das meninas?

Turno 73 - A1 - Porque você pergunta das causas. A gente explicou... tipo, a nossa conclusão é que o... a trajetória é curvilínea. Que não desvia, no caso. Tipo, não é as causas que são a conclusão, entendeu? Eu acho que pra responder essa

questão, as causas disso, do porquê da existência dessa órbita, sendo que deveria ser a...

Turno 74 - Professor - Mas eu tô... aqui se pergunta, né, "Elabore um argumento explicando as causas da manutenção dessa órbita". "Elabore um argumento explicando as causas da manutenção da órbita". O que é que vocês entendem sobre isso? Diga, B2.

Turno 75 - A4 - É pra explicar o porquê o planeta é mantido nessa órbita curvilínea e o que mantém ele nessa órbita.

Turno 76 - Professor - Alguém tem uma colocação a fazer diante da fala da colega A4? O que é que você acha, A1, da colocação de A4?

Turno 77 - A1 - Tá certo.

Turno 78 - Professor - Alguém discorda da colocação de A4?

[Silêncio na sala.]

Turno 79 - Professor - Então, podemos comparar o argumento do grupo B? Vamos lá, todo mundo leu? Mesmo assim quem já leu uma vez, continua lendo e tenta comparar, pra gente poder analisar todos os três argumentos e depois elaborar um argumento coletivo, tá bom? Então, vamos lá. Vou reler o argumento do grupo B. A questão é o seguinte: Um planeta é percebido em órbita ao redor do Sol. Sabemos que essa órbita é mantida como estável, isto é, o planeta não desvia de sua trajetória curvilínea, elabore um argumento explicando as causas da manutenção dessa órbita, levando em consideração seus conhecimentos a respeito da Terceira Lei de Newton e da gravitacional universal. Elabore um argumento explicando as causas da manutenção dessa órbita... Primeira pergunta que eu faço a vocês: O grupo B, eles conseguem explicar as causas da manutenção da órbita dos planetas, da órbita estável dos planetas?

Turno 80 - A4 - Não.

Turno 81 - Professor - C4.

Turno 82 - C4 - Acho que não.

Turno 83 - Professor - Gente, por favor, falem alto, pra captar o som. E pra que vocês possam dividir as informações com os outros colegas. Hein, B4? Tá lendo o argumento ali lá do grupo B, por favor, pra gente poder comparar? Vamos lá. A5.

Turno 84 - A5 - Tô raciocinando.

[Cochichos na sala.]

Turno 85 - Professor - Ô gente, por favor, o debate é coletivo. Vocês não podem falar olhando pro lado. É preciso falar pra todo mundo ouvir. Diga, C2, o que foi que você colocou aí?

Turno 86 - C2 - Não, não falei nada não.

Turno 87 - Professor - C5.

Turno 88 - C5 - Tô vendo aqui, professor.

Turno 89 - Professor - C4.

Turno 90 - A4 - Eu acho que não responde porque, assim, ele tá falando que a ação da força é proporcional à massa e inversamente proporcional ao quadrado. Eu acho que isso tá correto, mas isso não, pra mim, eu não acho que explica o porquê que esse planeta se mantém nessa órbita.

Turno 91 - Professor - B2, cê ouviu o que A4 colocou?

Turno 92 - A4 - É porque eu acho que essa justificativa que eles utilizaram, é... é pra responder o porquê da força, mas não explica que... o que é que mantém esse objeto ou esse corpo em órbita curvilínea, trajetória.

Turno 93 - Professor - Membros do grupo B, diante da fala de A4, como é que vocês... cês concordam ou discordam da colega? B2.

Turno 94 - B2 - Concordo com A4.

Turno 95 - Professor - B3.

Turno 96 - B3 - Não sei.

Turno 97 - Professor - B1.

Turno 98 - B1 - Hmm... não sei. Tô analisando.

Turno 99 - Professor - B4. Você concorda com A4, B2? Por que?

Turno 100 - B2 - Ele fala mais da força, mas não como esse planeta é mantido na órbita.

[Cochichos na sala.]

Turno 101 - Professor - Alguma outra pessoa... Diga, C3. Fala, meu querido.

Turno 102 - C1 - A do [não compreendido - 00:12:41], professor, mais nada não.

Turno 103 - C1 Ericsson - Ela tá com uma dúvida... [risos] sobre a questão da... da força de interação e a força centrípeta.

Turno 104 - C1 - Mas resolveu o que?

Turno 105 - C3 - Pode descartar por causa do que o questionamento pede.

Turno 106 - Professor - Como é que você... se você pudesse, B2, já que você concorda com a colocação de A4, que o argumento... é... do grupo B, ele não... não explica as causas da manutenção da órbita do planeta, que é a questão central do problema. O que que você mais avaliaria dentro do... então, qual a parte do... hein, A4, você coloca essa questão, então qual a parte do argumento que você acha que precisa ser alterado pra conseguir responder as causas da manutenção dessa órbita?

Turno 107 - C5 - Na conclusão?

Turno 108 - A4 - Eu não sei o que tiro. Acho que na... ali na conclusão acho que deveria ter a trajetória especificando que é curvilínea, como fala aqui. Eu sei que fica subentendido de que a trajetória dos planetas é curvilínea, mas, talvez pra um outro leitor que, uma outra pessoa, fosse ler, ele não soubesse que essa trajetória é curvilínea. Então, acho que deveria na conclusão ter que a trajetória é curvilínea e alterar a justificativa.

Turno 109 - Professor - E aí, grupo B, membros do grupo B? Vocês estão vendo as colocações que estão sendo feitas? C5, o que é que você acha da colocação de A4 com relação ao argumento do grupo B?

Turno 110 - C5 - Eu concordo com ela.

Turno 111 - Professor - Alguém gostaria de fazer uma nova colocação para adicionar ao argumento do grupo B?

Turno 112 - A1 - A fundamentação teórica.

Turno 113 - Professor - Não ouvi, A1.

Turno 114 - A1 - A fundamentação teórica.

Turno 115 - Professor - O que? O que é que você nos diz em relação à fundamentação teórica?

Turno 116 - A1 - Eu acho que essa proposição [não compreendido - 00:14:35].

Turno 117 - A5 - Na verdade, essa proposição é a seis.

Turno 118 - B2 - É a seis?

Turno 119 - A5 - Não é a 7 essa proposição. No texto, pelo menos, é a seis. Foi isso que eu tava... agora, se na conclusão precisa ter isso, o que mantém o planeta, no caso, porque se for levar em consideração o argumento 1, nenhum outro responde.

Turno 120 - A4 - Uhum.

Turno 121 - A1 - Você acha que ninguém respondeu?

Turno 122 - A5 - Ninguém respondeu.

Turno 123 - Professor - A gente vai analisar os demais pra saber.

[risos]

Turno 124 - C4 - Mas, pela lógica, ele derrubou tudo. [risos]

Turno 125 - C2 - Mas porque a gente não fala da manutenção.

Turno 126 - Professor - Então, A1 chamou atenção com relação a que outro aspecto foi do grupo B, A1?

Turno 127 - A1 - Fundamentação.

Turno 128 - Professor - B2 compreendeu a colocação de A1? O que é que você colocaria, A1? Você enquanto membro do grupo B.

[Cochichos na sala.]

Turno 129 - B2 - Eu ou A1?

[risos]

Turno 130 - Professor - Ouviu? B2...

Turno 131 - A1 - Eu já ia responder.

Turno 132 - Professor - Desculpa.

Turno 133 - A1 - Se você fosse do meu grupo...

Turno 134 - A4 - Qual a proposição que vocês têm? Fala. Fala aqui?

Turno 135 - A5 - Fala.

Turno 136 - A4 - Que a massa é proporcional...

Turno 137 - Professor - Alguém tem mais uma colocação com relação ao argumento do grupo B? Pra colocar, nesse momento.

[Cochichos na sala.]

Turno 138 - Professor - Hein, gente? Vamos lá. Então, vamos analisar agora o argumento do grupo C? Então, por favor, todo mundo lendo o argumento do grupo C.

[Silêncio na sala]

Turno 139 - A4 - Ficou tão claro que eu não tô enxergando... [risos]

Turno 140 - C1 - Aqui. A gente lê em voz alta, A4. Repete aí.

Turno 141 - A4 - Então lê no papel, que às vezes lê em voz alta pra uma pessoa, você pode entender o que eu quero ler.

Turno 142 - C1 - Ah tá. Cuidado pra não manchar, viu? Porque, tipo, vai entregar ao professor.

[risos]

Turno 143 - Professor - Vamos lá, gente. Podemos continuar, então? Todo mundo releu o argumento do grupo C? Então, primeira pergunta que eu faço. Vamos lá, A4.

Turno 144 - A4 - Eu tô lendo o argumento. É porque eu não tô conseguindo enxergar direito.

Turno 145 - Professor - Pronto.

Turno 146 - B3 - Se um planeta é percebido...

Turno 147 - Professor - O argumento do grupo C, ele consegue explicar as causas da manutenção da órbita estável dos planetas? Primeira pergunta que eu faço. Respondam. Hein, gente? Conseguem?

Turno 148 - Alguns estudantes - Não.

Turno 149 - C4 - Não, professor.

[risos]

Turno 150 - Professor - Alguém discorda de C4? Então, de acordo com vocês, o grupo C não consegue, então, explicar as causas da manutenção da órbita, é isso? Então, diante disso, o que é que vocês... é... gostariam de falar, de analisar com relação ao argumento do grupo C?

[Cochichos na sala.]

Turno 151 - A4 - Eu acho que, na conclusão, não deveria ter essa palavra "alterado".

[Cochichos na sala.]

Turno 152 - A4 - Porque no enunciado que você deu fala que... é mantida estável. Estável.

Turno 153 - A1 - Pode ter um "não" antes. O mesmo não terá.

Turno 154 - A4 - Ah... tá. Tô te falando que eu não tô enxergando. [risos] Então, desconsiderem o que eu falei.

Turno 155 - Professor - E aí, membros do grupo C. Por favor, gente, cês precisam falar coletivamente. Membros do grupo C, dos outros grupos, mais alguma colocação? Diga, C1 e C4, que estavam conversando aí.

Turno 156 - C1 - É porque a gente não sabe mais ou menos como explicar, professor.

Turno 157 - Professor - Mas fiquem à vontade.

Turno 158 - C1 - Como a gente deveria colocar. A gente tava discutindo aqui pra...

Turno 159 - Professor - Isso, vá, discutam. A ideia do grande grupo é que vocês podem discutir coletivamente. Diga, C1.

Turno 160 - C1 - Fala, C4.

Turno 161 - C4 - Não. Fala, C5. A ideia foi de C5, então C5 tem que falar.

[risos]

Turno 162 - C5 - [não compreendido - 00:19:02].

[risos]

Turno 163 - Professor - Então, por favor.

Turno 164 - C5 - Vocês que estão pensando aí, vocês falam aí.

[risos]

Turno 165 - Professor - Bora, C4. Bora, C1. Vamos lá.

Turno 166 - C4 - A gente estava pensando que o que mantém, de fato, o planeta seria a... aquela concepção que Hooke trouxe, que era de decompor o movimento e os dois componentes... Aí a gente pensou isso inicialmente, mas a gente acabou sendo levada a essa outra teoria...

Turno 167 - C2 - É.

Turno 168 - C1 - Foi isso mesmo.

Turno 169 - Professor - Então, analisando agora dentro daqui... do que foi colocado tanto do grupo B, já que a gente analisou, o que tá sendo colocado na discussão do argumento do grupo C, o que é que vocês acharam que deveria mudar no argumento de vocês? E aí, eu escrevo essa pergunta pra os outros membros também do grande grupo. Tá bom? Fala, C1. Fale alto, C1, por favor. Ainda é baixo, C1.

Turno 170 - C1 - Eu sei, professor.

Turno 171 - Professor - Então, fale, que precisa gravar, por favor, preciso ouvir porque eu não tô ouvindo. Diga, querida.

Turno 172 - C1 - Fala, C5.

Turno 173 - Professor - A3.

Turno 174 - A3 - Oi? Se eu tenho alguma alteração? Eu não consigo dizer o que tem que mudar... Depois do primeiro grupo, já não sei mais o que é certo e o que é errado. [risos]

Turno 175 - Professor - Então, é... vou solicitar que vocês procurem, então, analisar agora parte por parte. Ou seja, cada elemento dentro do argumento elaborado pelo

grupo C. Então, inicialmente, eu vou refazer a primeira pergunta: O grupo C, eles conseguem explicar as causas da manutenção na órbita dos planetas?

Turno 176 - C1 - Não.

Turno 177 - Professor - Na órbita estável?

Turno 178 - C1 - Não.

Turno 179 - Professor - Diante da resposta de vocês, alguém discorda da resposta que foi colocada aí? Os dados, que inicia com que frase, com que palavra, de acordo com vocês?

Turno 180 - Alguns estudantes - "Se".

Turno 181 - Professor - Está correto?

Turno 182 - C1 - Sim.

Turno 183 - Professor - Depois vocês marcaram ali também outra palavra, o "então", que se refere a que parte do argumento do grupo C? Hein, gente?

Turno 184 - Alguns estudantes - Conclusão.

Turno 185 - Professor - Essa conclusão, de acordo com vocês, está correta?

Turno 186 - C1 - Sim, eu acho que era o "já que". Sim, professor.

Turno 187 - Professor - Alguém discorda de C1? A5.

Turno 188 - C1 - Eu acho que deveria mudar o "já que".

Turno 189 - Professor - O "já que" se refere, C1, no segundo dado do argumento do grupo C, a que parte do argumento de vocês?

Turno 200 - C1 - Justificativa.

Turno 201 - Professor - Então, você acha que deveria mudar...

Turno 202 - C1 - A parte da justificativa.

Turno 203 - Professor - Então, vamos reler a justificativa do grupo C. Pode ser?

Turno 204 - A4 - Rapidinho. As causas dessa manutenção da órbita é... vai entrar na fundamen... na justificativa ou na conclusão?

Turno 205 - C1 - Na justificativa porque, quer dizer... a gente tava com essa dúvida, logo no início, porque a gente achava que era uma pergunta, mas aqui não é uma pergunta em si, como o professor explicou. Então, poderia entrar na justificativa. Foi pelo que eu entendi. É isso, professor?

Turno 206 - Professor - Vocês que decidem.

Turno 207 - A5 - Eu acho que entraria na justificativa porque a gente iria explicar o porquê ela se permanece a partir da conclusão que nós botamos. Agora, montar

essa justificativa tá tenso, viu professor. O senhor vai ter que desembolar aí pra botar a gente pra entender, viu?

[risos]

Turno 208 - Professor - Então, C1, voltando, então... A3, você entendeu a colocação dos seus colegas?

Turno 209 - A3 - Entendi.

Turno 210 - Professor - É... voltando aqui ao que C1 colocou, que mudaria a justificativa do grupo C. Então, eu vou reler a justificativa em voz alta. Diz: "Já que as forças existentes entre a interação desses dois corpos são simultâneas, sendo as mesmas proporcionais à massa de cada corpo, as quais decaem com o quadrado da distância entre o centro dos corpos."

Turno 211 - C1 - Mudaria isso aí.

Turno 212 - Professor - Como é que... mudaria o que?

Turno 213 - C1 - Então, professor, porque a gente tinha pensado, logo no início, de colocar de outro jeito, já que o planeta fica submetido a dois tipos de movimento, que seriam um inercial e um acelerado atrativo. Tem mais coisa aqui, mas...

Turno 214 - Professor - Gente, eu quero, então que... cês ouviram o que C1 contribuiu ao que o grupo C colocou, que ela modificaria no argumento deles? Cês ouviram?

Turno 215 - A4 - Sim.

Turno 216 - Professor - Alguém gostaria de fazer alguma colocação a respeito disso?

[Silêncio na sala.]

Turno 217 - Professor - Você concorda, A3, com a colocação do grupo C?

Turno 218 - A3 - Eu não sei se responde. De verdade, eu já não sei o que é que responde.

Turno 219 - Professor - A1.

Turno 220 - A3 - O que eu achava, parece que não é.

Turno 221 - A1 - Eu acho que também não.

Turno 222 - Professor - A2.

Turno 223 - A2 - Também acho que ainda assim não responde o que é perguntado.

Turno 224 - Professor - A4, A5.

[Cochichos na sala.]

Turno 225 - Professor - B2, B3, B1, C2, C5

Turno 226 - C5 - Não sei.

Turno 227 - Professor - C4.

Turno 228 - C4 - Não sabemos.

Turno 229 - Professor – C3, B4.

[Cochichos na sala.]

[risos]

Turno 230 - Professor - Então, vejo que o que foi colocado aqui por A2, A3, A1 e outros demais, ainda não responde. Mas, eu quero entender, que vocês me expliquem o que isso significa pra vocês. Vamos lá, gente, concentra. O que isso significa dentro da análise do argumento do grupo C. Não responde porque não se relaciona com a questão que é colocada, que é explicar as causas da manutenção da órbita, né? Ou não responde porque é inconclusivo ainda. Quero que vocês me expliquem isso, quem poderia...

Turno 231 - A4 - Eu acho que não explica, ao menos a parte que ela leu depois. Não explica a manutenção, mas explica o porquê a órbita é curvilínea.

[Silêncio na sala.]

Turno 232 - Professor - Todo mundo ouviu o que a colega A4 colocou? Cê ouviu, C2? Diga, C1. O que é que cê acha da colocação de A4 com relação à justificativa que você colocou?

Turno 233 - C1 - Não entendi não, Fala aí, Pati.

Turno 234 - A4 - Porque você falou que mudaria e colocaria que "já que o planeta é desviado...", que seriam dois movimentos, né isso? Então, essa sua justificativa, acho que responde o porquê da trajetória curvilínea, mas não o que mantém ele nessa trajetória.

Turno 235 - C1 - Ah, entendi. É porque ficou incompleto, né?

Turno 236 - C2 - Mas, peraí, tipo, os dois movimentos são constantes? Porque se esses movimentos fossem constantes, daria pra responder porque, é, o negócio, né?

Turno 237 - A5 - Ah, eu não acho.

[risos]

Turno 238 - A4 - Eis é a questão.

Turno 239 - Professor - Falem alto, por favor. Diga, C2.

Turno 240 - C2 - Não.

[Cochichos na sala.]

Turno 241 - A4 - Eu realmente não sei.

Turno 242 - Professor - Qual foi sua colocação, C2, pra A4?

Turno 243 - C2 - É porque se os dois movimentos fossem constantes, né, é, tipo, os movimentos... daria pra explicar o movimento porque... ah, deixe quieto. Não sei explicar não.

Turno 244 - C1 - Daria...

Turno 245 - C2 - Se os dois movimentos fossem constantes...

Turno 246 - C3 - Pra explicar a manutenção?

Turno 247 - C2 - É, exato. Daria pra explicar a manutenção. Porque os dois movimentos são constantes.

[Cochichos na sala.]

Turno 248 - C1 - Pode falar, A5, que a gente tá querendo ouvir também.

Turno 249 - Professor - Diga, A5.

Turno 250 - A5 - Ah... [risos] Eu acho que... eu acho... quando a gente tava discutindo no grupo recai numa coisa que A1 falou. Agora, ele... eu acho que ainda... [risos]

Turno 251 - A4 - A gente tem que adivinhar o que foi que ele falou.

A5 - É, da velocidade... essas coisas. Eu acho que ainda, isso pra mim ainda explica a manutenção do...

Turno 252 - A4 - Só que no texto a gente não tá trabalhando com velocidade. Então, não dá pra usar a velocidade pra explicar o movimento.

Turno 253 - A5 - Tá.

Turno 254 - A1 - É porque... assim, essa aceleração que vai estar sendo... é, tipo, sobre esse planeta, ela vai estar mudando a direção dessa velocidade, o que responde também. A da distância. Ela não muda o módulo da velocidade, então ele vai estar percorrendo esse percurso aí, circular, com a mesma velocidade e a aceleração dela não tá... a aceleração não tá... tanto a aceleração não muda quanto a velocidade não muda em módulo. Só vai estar mudando o sentido. Por isso que ela faz esse movimento circular, se não muda o sentido. Que é o que a gente tem hoje, completando, todo o movimento de hoje em dia, no caso do movimento circular mesmo. Então... tanto que a gente bota ali que, no nosso, a gente fala que a

gravidade é constante, mas não. A gravidade é... no caso, essa aceleração centrípeta, ela seria constante. E essa força, né, ela vai depender dessa distância e dessa massa. A massa, a gente sempre trabalha normalmente que essa massa é constante. Cê não vai estar pegando e mudando essa massa do planeta, né. Normalmente não se usa, por isso que a gente não colocou nessa mesma distância. O principal é que essa distância entre o planeta e o Sol, no caso, né, não muda. A ideia principal é que não mude, pra poder manter esse movimento estável. No caso, circular.

Turno 255 - Professor - Agora, o movimento de órbita de um planeta ao redor do Sol, ele é perfeitamente circular?

Turno 256 - C1 - Não.

Turno 257 - Professor - O que isso significa? A distância do planeta ao Sol se mantém constante?

Turno 258 - A1 - Porque a aceleração é diferente, a velocidade é diferente. Então, não...

Turno 259 - Professor - Então, vamos lá, continuando. A gente conseguiu, a gente vai conseguir chegar num... C1, o que é que você analisa dentro daquilo que foi colocado em relação à justificativa do que você colocou?

[Silêncio na sala.]

Turno 260 - A1 - Tem uma parte...

Turno 261 - Professor - O que é garantido... Diga.

Turno 262 - A1 - Me tire essa dúvida. Tem uma parte do texto, se eu não me engano, que você fala que quando há interação entre dois corpos, eles giram em torno do centro de massa. Acho que tem uma citação assim, que esse movimento circular é em torno do centro de massa. Isso aí explica o porquê desse corpo se manter nesse movimento circular. Não necessariamente, o estável. Mas o movimento circular.

Turno 263 - Professor - Por que você acha que explica?

Turno 264 - A1 - Porque se esse corpo vai estar... vai estar tendo essa interação entre esses dois corpos, no caso, o Sol e o planeta. O centro de massa vai estar muito mais próximo do Sol.

Turno 265 - Professor - Por que?

Turno 266 - A1 - Porque a massa do Sol é muito maior do que as dos planetas. Então, é, esse corpo vai estar girando entre um ponto muito próximo ao Sol. O ponto fixo vai estar muito próximo do Sol porque aí, acho que, não tenho certeza, mas pra gente ele é aproximado pelo movimento circular mesmo. Então, a gente considera o ponto do próprio centro, pelo centro do Sol. Então, com base nessa explicação que, acho que no texto traz, não tenho certeza agora, dá pra explicar aquele movimento.

Turno 267 - Professor - Pronto. No feedback, você... Existe algum outro elemento do argumento 2 que... a gente perguntou um por um e ali que vocês também grifaram "que é garantido", do grupo C. Que se refere a que elemento layout do argumento de vocês?

Turno 268 - C1 - Fundamentos.

Turno 269 - Professor - Vocês... alguém... presta bem atenção, do grupo C, o fundamento do grupo C, está de acordo com... por que não, A1?

Turno 270 - A1 - É muito longo, tipo, mas que parte da GU? Então, por mais que a questão em si traga isso como fundamento da questão, acho que é muito amplo porque, assim, é pela Terceira Lei... Sim, mas, um que? Entendeu? E parece que não tá comunicando, a parte de cima com... por exemplo, o que é que a Terceira Lei...

Turno 271 - Professor - A parte de cima, cê fala que parte?

Turno 272 - A1 - A justificativa. O que é que a justificativa tá relacionando com a Terceira Lei ali? Se vocês conseguirem... acho que, na minha visão, não tem ligação. Parece que pegou ali porque a questão já traz, então, vou colocar. Não sei, não sei se também foi isso.

Turno 273 - Professor - Grupo C, dentro da colocação colocada... C5?

Turno 274 - C5 - Na verdade... eu acho que realmente tá errado, mas, na verdade, a Terceira Lei, a gente colocou porque as forças são simultâneas. As forças entre esses dois corpos, a gente colocou que as forças são simultâneas e, por isso, que a gente colocou a Terceira Lei. Mas, também concordo que deve tá errado porque, realmente, é muito amplo.

Turno 275 - Professor - Então, reconhecendo que é muito amplo, o que é que vocês achavam que deveria, então... que tipo de modificação seria feita? Como seria feita essa modificação?

Turno 276 - C5 - A modificação, eu não sei, mas teria que mudar a justificativa e o fundamento.

Turno 277 - Professor - Alguém discorda de C5?

Turno 278 - A5 - Acho que seria mudar o fundamento. A justificativa, acho que poderia ficar desse jeito e só apenas mudar esse fundamento. Tirar, no caso. O GU, especificar o que é que você tá tratando. Colocar alguma proposição de qual livro você tá tratando também. E a justificativa, não necessariamente mudar, mas... mudar alguns termozinhos.

Turno 279 - Professor - Com a sua... a segunda Lei, então...

Turno 280 - A5 - Isso... de que formas...

Turno 281 - C1 - Aqui, vamos lá, aqui, A5. Será que cê consegue ver porque eu não consigo ver também.

[Silêncio na sala.]

Turno 282 - A5 - O que é que mudaria...

Turno 283 - C1 - Porque a justificativa não responde, né A5? Teria, tipo, que mudar tudo, não uma parte. Entendeu?

Turno 284 - Professor - E aí, A5? Então, a gente... alguém tem uma outra colocação mais pra colocar com relação ao argumento do grupo C? Então, vamos passar para o argumento do grupo A? Então, por favor, releiam o argumento do grupo A pra que a gente possa analisar. Vamos lá.

Turno 285 - A5 - Tá errado. [risos]

Turno 286 - C1 - Aê!

[Algo cai no chão.]

Turno 287 - A5 - Ai, se fosse A3, eu até acreditaria, mas você? [risos]

Turno 288 - C1 - Ó pra aí, A3, que dizer que tu é baixinha. [risos]

Turno 289 - Professor - Então, o argumento do grupo A tá no quadro. Aí, eu faço a mesma pergunta: O argumento do grupo A consegue explicar as causas da manutenção da órbita estável do planeta? Hein, gente, tô perguntando, por favor. O argumento do grupo A consegue explicar a causa da manutenção da órbita estável do planeta?

Turno 290 - Alguns estudantes - Não.

Turno 291 - Professor - Por que não?

Turno 292 - A5 - Mesma coisa.

Turno 293 - Professor - B2. Cê acha que o argumento do grupo A consegue explicar a causa da manutenção da órbita planetária? [B2 balança a cabeça como um ato de negação] Por que você acha que não?

Turno 294 - B2 - Tá na mesma linha de pensamento. Explicou a causa das forças e tal...

Turno 295 - A4 - E a gravidade não vai ser constante. Porque a órbita dos planetas não são círculos perfeitos ao redor do Sol.

Turno 296 - Professor - Não entendi, A4.

Turno 297 - A4 - A gravidade não vai ser constante, como a gente colocou, porque a órbita dos planetas não é uma circunferência perfeita ao redor do Sol.

Turno 298 - Professor - Diga, B2.

Turno 299 - B2 - Não. Tava tentando tirar uma dúvida aqui.

Turno 300 - Professor - Mas pode perguntar.

Turno 301 - B2 - O que?

Turno 302 - Professor - Pros colegas, pra todos. Não só pra A1.

Turno 303 - B2 - Não...

Turno 304 - Professor - Vamos lá, gente. Alguma outra colocação com relação ao argumento do grupo A?

[Silêncio na sala.]

Turno 305 - Professor - Grupo A, qual o dado do argumento de vocês?

Turno 306 - A4 - "Se um planeta primário é percebido em órbita ao redor do Sol..."

Turno 307 - Professor - Qual é a conclusão?

Turno 308 - A4 - "Então, ele não desvia dessa trajetória curvilínea."

Turno 309 - Professor - Qual é o qualificador?

Turno 310 - A4 - "Com certeza".

Turno 311 - Professor - Qual a justificativa?

Turno 312 - A4 - "Já que a interação entre eles é mútua e a gravidade é constante."

Turno 313 - Professor - E qual a fundamentação?

Turno 314 - A4 - Proposição 5.

Turno 315 - Professor - Então eu quero que vocês diante do que já foi discutido dos argumentos dos grupo B e 2, analise o argumento do grupo A. Todos os membros, até os membros do próprio grupo A. E aí, C2? Releu lá o argumento do grupo A?

[Silêncio na sala.]

Turno 316 - Professor - A2, cê acha que o argumento do seu grupo, do grupo A, consegue explicar as causas da manutenção estável do planeta?

Turno 317 - A2 - Não.

Turno 318 - Professor - Por que você acha que não?

Turno 319 - A2 - Como o problema dos outros grupos, que fala sobre a força, mas não necessariamente fala sobre o que pede na questão.

Turno 320 - Professor - Que seria?

Turno 321 - A2 - Seria a causa do movimento dos corpos celestes.

Turno 322 - Professor - Da manutenção.

Turno 323 - A2 - Da manutenção da órbita dos planetas.

Turno 324 - Professor - Então, o que é que... qualquer um, eu tô perguntando pro grande grupo como um todo, o que é que acha que poderia ser, que vocês mudariam ou o que vocês discordam com relação ao argumento do grupo A? Ericsson.

Turno 325 - Ericsson - É, no caso, como todo mundo tá falando aqui o tempo todo que não responde, mas dentro do que o grupo propôs ali, eu deixaria como tá. Mesmo não respondendo.

[risos]

Turno 326 - C1 - Não entendi, C3.

[risos]

Turno 327 - C3 - Presta atenção. Ele não responde a pergunta, né?

Turno 328 - C1 - Sua resposta aí...

Turno 329 - C3 - Não responde o que foi colocado aqui, mas dentro do argumento que eles colocaram, do que foi proposto, tá ali. Mesmo não respondendo...

Turno 330 - Professor - Mas o objetivo é responder.

Turno 331 - C1 - É. O que é que tu tiraria ali pra responder?

Turno 332 - C3 - Mas ele não responde. Tem alguma coisa aí, um parafuso...

[risos]

Turno 333 - C1 - Não. Pra isso tem apagador.

[risos]

Turno 334 - C3 - Então, apaga. Se não responde, fazer o que?

[risos]

Turno 335 - Professor - A5, o que é que... que colocação você... a análise que você faz do argumento do grupo A?

Turno 336 - A5 - Do meu grupo?

Turno 337 - Professor - Comparando com os grupos B e C.

Turno 338 - A5 - Todo mundo já falou. Ele não responde o objetivo da questão em si. Não responde isso, o "porquê", a manutenção do...

[risos]

Turno 339 - Professor - Então, a gente... eu vou abrir espaço no quadro pra que um ou dois representantes do grande grupo vão na frente pra que vocês consigam elaborar um argumento pra responder a questão.

Turno 340 - Alguns estudantes - Sem condições.

Turno 341 - A5 - Como a gente vai elaborar...

Turno 342 - Professor - A gente vai elaborar o argumento coletivo.

[risos]

Turno 343 - A4 - Você que vai ajudar, né, porque...

Turno 344 - Professor - Não, vocês vão elaborar.

Turno 345 - Alguns estudantes - É, professor

Turno 346 - Professor - Depois dou o feedback. Foram discutidas várias coisas aqui, que concordaram e discordaram...

Turno 347 - A1 - É o jeito.

Turno 348 - Professor - Gente, um momentinho, por favor. Algumas das questões que foram colocadas, vocês concordaram que devem ser mudadas e agora vocês vão elaborar um argumento coletivo. Depois a gente vai dar, depois que vocês elaborarem o argumento, um feedback, claro.

[Cochichos na sala.]

Turno 349 - A5 - B2 e A1.

[risos]

Turno 350 - Alguns estudantes - É, B2 e A1.

Turno 351 - C1 - Super concordo. B2 e A1.

Turno 352 - A5 - E C1, que é do último grupo.

Turno 353 - C1 - Não. Nada.

Turno 354 - A5 - Não entendi. Porque um grupo de cada.

[Conversas simultâneas.]

Turno 355 - A3 - Oxi, fazia embaixo mesmo do grupo A.

[Conversas simultâneas.]

Turno 356 - Professor - Vamos lá, gente. B2, você que tá...

Turno 357 - A1 - É pra parar a gravação, não?

Turno 358 - Professor - Não.

Turno 359 - C5 - Ô, B2.

Turno 360 - B2 - Quem era o outro?

Turno 361 - C1 - Pode ir A1 e B2, os dois.

Turno 362 - A5 - E C1.

Turno 363 - C1 - Eu não. É dois.

[Conversas simultâneas.]

Turno 364 - Professor - Gente, por favor. Concentra aqui ainda, por favor, que não acabou. É grande grupo, vamos lá.

[Cochichos na sala.]

Turno 365 - Professor - Gente, grande grupo. Comece, A4.

Turno 366 - C1 - Se um... vai, A4.

[risos]

Turno 367 - Alguns estudantes - Pega o outro, Rafa.

Turno 368 - B3 - Aqui, A1.

Turno 369 - A3 - Tem dois aqui também.

Turno 370 - C5 - Eu não sei o que é que explica a manutenção não.

Turno 371 - B1 - Também não.

Turno 372 - A4 - Eu acho que os dados e a conclusão, pode colocar igual a qualquer um, mas o problema é a justificativa.

Turno 373 - Professor - Pronto, vamos lá. Por partes.

Turno 374 - A1 - Essa parte já tá pronta.

Turno 375 - Professor - Opa.

Turno 376 - C1 - Pra A1.

Turno 377 - Professor - Psiu! Gente, concentra aqui, por favor. Sem conversa paralela.

Turno 378 - A5 - C1 é quem conversa mais.

[Cochichos na sala.]

[Silêncio na sala.]

[risos]

Turno 379 - C5 - Em órbita ao redor do Sol...

Turno 380 - C2 - É a força gravitacional.

Turno 381 - C5 - O que?

Turno 382 - C2 - A força gravitacional.

[Cochichos na sala.]

Turno 383 - A1 - Que o mesmo, ele não desvia da sua trajetória curvilínea.

[Silêncio na sala]

Turno 384 - B1 - Já que... Agora tá mal.

Turno 385 - Professor - Diga, B1.

Turno 386 - C1 e B1 - Já que.

Turno 387 - B1 - Agora...

[risos]

Turno 388 - B1 - Já que... [risos] Agora é o top. [risos]

[Cochichos na sala.]

[risos]

Turno 389 - C1 - Mas se eu colocar, A1 disse que não responde?

Turno 390 - Professor - Vamos lá, gente.

Turno 391 - C1 - Não tem como. Hein, A4? A4!

Turno 392 - Professor - O "já que" se refere a que elemento do argumento?

Turno 393 - C1, C5 e B1 - Justificativa.

Turno 394 - Professor - Qual o papel da justificativa dentro do argumento?

Turno 395 - C1 - Responder.

Turno 396 - A4 - Dizer as causas da manutenção.

Turno 397 - C1 - Da manutenção e da conclusão.

[Conversas simultâneas.]

Turno 398 - Professor - Isso, dentro da estrutura. Qual o papel da justificativa dentro do layout do argumento?

Turno 399 - Alguns estudantes - Sustentar a conclusão.

Turno 400 - Professor - Como, gente?

Turno 401 - Alguns estudantes - Sustentar a conclusão.

Turno 402 - Professor - Não tô ouvindo. Gente, por favor, não tô ouvindo. Alguém tá respondendo aí e eu não tô ouvindo.

Turno 403 – C3 - Fala aí.

Turno 404 - Professor - B1 falou alguma coisa, C1 falou alguma coisa...

Turno 405 - C1 e C5 - Sustentar a conclusão.

Turno 406 - Professor - O que é que isso significa? C4! Cê concorda com isso, C4?

Turno 407 - C4 - Eu acho que diz respeito aos dados, não? Eu acho.

[Cochichos na sala.]

Turno 408 - Professor - A4!

Turno 409 - A4 - Eu acho que é como a conclusão, é uma forma de você ver o que...

Turno 410 - C5 - Validar...

Turno 411 - A4 - Validar isso, a sua conclusão.

Turno 412 - Professor - B3.

Turno 413 - A4 - É meio que uma explicação para a conclusão.

Turno 414 - C1 - É isso mesmo.

Turno 415 - Professor - Sim, C1. Qual o papel da justificativa?

Turno 416 - C1 - Hã?

Turno 417 - Professor - Qual o papel da justificativa?

[Cochichos na sala.]

Turno 418 - Professor - Não ouvi, C1.

Turno 419 - C1 - Ah, não.

Turno 420 - Professor - C1! Eu fiz uma pergunta, C1.

Turno 421 - C1 - Sim, professor. Eu já falei, sustentar a conclusão.

Turno 422 - Professor - Eu não ouvi, C1.

Turno 423 - C1 - Sustentar a conclusão, né isso?

Turno 424 - Professor - É isso, gente?

Turno 425 - A4 - Sim.

Turno 426 - C5 - Sustentar a conclusão.

Turno 427 - C1 - É, sustentar a conclusão.

Turno 428 - B1 - Uhum.

Turno 429 - A3 - Assim, diante das conclusões que justificativa não teve, não teve uma justificativa...

Turno 430 - A4 - Não, mas ele tá perguntando da estrutura final...

Turno 431 - B1 - Na questão da estrutura.

Turno 432 - Professor - Tô perguntando da estrutura.

Turno 433 - A4 - Não o que a gente tinha colocado ali.

Turno 434 - Professor - Não da justificativa do problema.

Turno 435 - A3 - Sim, mas...

Turno 436 - Professor - Eu quero saber qual o objetivo da justificativa dentro do argumento. De um argumento.

Turno 437 - Ericsson - Estabelecer relação entre os dados e a conclusão.

Turno 438 - B2 - Do trajeto...

Turno 439 - B3 - Trajetória.

Turno 440 - B2 - Aqui?

Turno 441 - B3 - Aí.

Turno 442 - C1 - Tem um acento aí. No "i".

Turno 443 - Professor - Gente, quando C3 falou ali agora, qual...

Turno 444 - C5 - No segundo "i".

Turno 445 - Professor - C3! Qual o objetivo da justificativa?

Turno 446 - C3 - Estabelecer a relação entre os dados e a conclusão.

Turno 447 - C2 - Gravitacional e isso aí.

Turno 448 - Professor - Então, é isso que vocês precisam refletir agora.

[Cochichos na sala]

Turno 449 - A3 - "já que"...

[Conversas simultâneas.]

Turno 450 - C2 - Mas não é isso, não faz sentido, não?

Turno 451 - Professor - Vamos lá, então? Continue.

Turno 452 - C1 - Hein, Pati, a gente poderia colocar "já que o planeta é submetido a esses tipos de movimento..."

Turno 453 - C5 - Vai lá no ouvido de Rafa...

Turno 454 - C2 - Hã?

Turno 455 - C5 - Vai lá no ouvido de Rafa falar...

Turno 456 - C1 - A4, Deus é mais, me deixou falando sozinha. [risos]

Turno 457 - A4 - Eu tô... Eu ouvi o que você falou, que a gente poderia utilizar isso aí...

Turno 458 - Professor - Gente, fale alto aí que eu não tô ouvindo.

Turno 459 - C1 - E aí a gente poderia colocar que...

Turno 460 - Professor - C1, fale alto, por favor, pra captar o som.

Turno 461 - C1 - Peraí, professor... A gente tá...

Turno 462 - Professor - Você precisa falar alto, pra captar o som. Não é pra falar pra mim não, é pra captar o som.

Turno 463 - C1 - Tá.

Turno 464 - Professor - Repita o que você falou com A4.

Turno 465 - C1 - Ela tá pensando, pra saber se a gente vai colocar isso mesmo.

[risos]

[Silêncio na sala.]

Turno 466 - A4 - Eu acho que, dentro do que a gente discutiu, não existe nada que vá justificar essa conclusão. A única que a gente poderia colocar, só pra não ficar sem elaborar o argumento, é o que C1 sugeriu, explicar o porquê da trajetória curvilínea, mas não o porquê que ele não se desvia porque eu sinceramente não sei.

Turno 467 - Professor - Então, elaborem o argumento coletivo, que aí a gente faz... a gente finaliza essa parte.

[risos]

Turno 468 - C3 - Já que, a gente escreveu essa parte...

Turno 469 - A4 - Mas aí vai colocar só a explicação, o porquê que a trajetória é curvilínea e não porque ele...

Turno 470 - C1 - Pode ficar assim, professor, então?

Turno 471 - Professor - O argumento é de vocês.

Turno 472 - A2 - Então, pronto.

Turno 473 - C5 - Acabou.

Turno 474 - C1 - Então vai, assim mesmo.

Turno 475 - A5 e A2 - Fala, C1.

Turno 476 - B2 - Já que?

Turno 477 - A1 - Fala, gente!

Turno 478 - C1 - Eu tô esperando, tentando ver, tentando elaborar... ah, já...

Turno 479 - A2 - Já fica...

Turno 480 - C1 - Fica submetido...

Turno 481 - B2 - Quem fica?

Turno 482 - A2 - O planeta fica...

Turno 483 - B2 - Já que...

Turno 484 - C1 - Já que o planeta fica submetido a dois tipos de movimento: um inercial e um acelerado atrativo...

Turno 485 - B1 - Um inercial...

Turno 486 - C1 - E um... acelerado atrativo. Vírgula. Sendo...

[Cochichos na sala.]

Turno 487 - B2 - Vírgula...

Turno 488 - C1, pausadamente - Este responsável por não alterar sua trajetória curvilínea do planeta. Mas acho que aí nem precisa colocar não. Não sei.

Turno 489 - B2 - Não alterar...

Turno 490 - A4 - Acho que precisa... não precisa colocar essa parte, "sendo este"...

Turno 491 - A5 - Não.

Turno 492 - A4 - Eu acho, agora não sei se os demais...

Turno 493 - Alguns estudantes - Pode, pode.

Turno 494 - A4 - É porque fica muito repetitivo.

Turno 495 - A1 - Se colocaria "constante", responde a questão.

Turno 496 - C3 - É, é verdade.

Turno 497 - A1 - Se a aceleração é constante.

Turno 498 - A4 - Foi o que C2...

Turno 499 - C2 - Foi o que eu disse.

[risos]

Turno 500 - A4 - C2 falou.

Turno 501 - C2 - É, eu só não sei tá...

[risos]

Turno 502 - C3 - C2 falou, é isso mesmo.

[Conversas simultâneas.]

Turno 503 - A1 - Consta...

Turno 504 - A5 - Acelerado.

[Cochichos na sala.]

Turno 505 - C1 - Ô C2, você tá demais.

Turno 506 - B2 - Como é, A1?

Turno 507 - A1 - Atrativo. Força constante.

Turno 508 - B2 - Mas aí no caso, é...

Turno 509 - A4 - Mas aí, acho que aí... Aí, fica assim, ó, que o planeta fica submetido a dois tipos de movimento: um inercial e outro acelerado. Ficou a escrita estranha. Ficou "dois tipos de movimento inercial". Aí fica parecendo que são dois tipos de movimento inercial, não um movimento inercial e um acelerado.

[Cochichos na sala.]

Turno 510 - A4 - Não, ainda fica errado.

Turno 511 - B2 - Vou ter que apagar até aqui, no caso?

Turno 512 - A4 - É porque tá assim, ó: há dois tipos de movimento inercial. Um movimento acelerado é inercial?

Turno 513 - C3 - Ah, entendi. São dois tipos de movimento.

Turno 514 - C2 - Em cima também.

Turno 515 - C1 - Dois tipos de movimento. Dois, a gente colocou dois pontinhos e colocou, falando onde é pra colocar.

Turno 516 - B2 - Inercial... Um é inercial, né?

Turno 517 - C1 - Põe dois... Não foi isso não.

Turno 518 - A5 - Não, foi vírgula.

[Cochichos na sala.]

[risos]

Turno 519 - A1 - Acelerado.

Turno 520 - C1 - Vou tirar foto de Rafa, pra mandar pra ele depois.

Turno 521 - B1 - E a funda... fundamentado pelo que? Ninguém sabe.

Turno 522 - A4 - É, tem que pensar.

Turno 523 - B1 - Qual que é a fundamentação teórica... coerente...

[Cochichos na sala.]

Turno 524 - C1 - Ficou bom, hein?

Turno 525 - B1 - Agora, o que é que garante que é o barril.

Turno 526 - C5 - Não sabemos.

Turno 527 - C1 - Que é garantido...

Turno 528 - B1 - Todo mundo foi de [não compreendido - 00:51:06] como?

[Conversas simultâneas.]

Turno 529 - C1 - Que é garantido...

Turno 530 - A5 - Vozes da minha cabeça.

Turno 531 - B1 - Não, é Hooke, não?

Turno 532 - C1 - O Hooke. Alguma coisa assim.

Turno 533 - B1 - É uma concepção de Hooke.

Turno 534 - A1 - Não, não, não.

Turno 535 - B1 - Pode botar concepção de Hooke, não? Fica muito...

Turno 536 - C1 - Não pode não... Peraí, deixa eu ver aqui no meu texto.

Turno 537 - A5 - Concepção = vozes da minha cabeça.

Turno 538 - C1 - Cadê o meu texto, C3?

Turno 539 - A4 - Vai ser 1, 2, 3...

Turno 540 - A5 - 4, 5, 6, 7 e 8.

[risos]

Turno 541 - Professor - Vamos lá, gente, vamos finalizar o argumento coletivo? Vamos lá, concentra.

Turno 542 - A4 - Acho que é a proposição 1 e 2, não?

Turno 543 - A1 - Vírgula, que é garantido.

Turno 544 - B1 - Há?

Turno 545 - C1 - Qual é a proposição?

Turno 546 - B2 - Vírgula...

Turno 547 - A1 - Tá no texto.

Turno 548 - C1 - Não, C3. Tu olha um que eu olho o outro. [risos]

Turno 549 - A5 - Pela proposição 1 e 2.

Turno 550 - A4 - A proposição 2 para que o povo resolveu incluir Newton na Lei das Áreas, logo está sujeito à ação de uma força central, que altera o seu movimento inercial.

Turno 551 - C2 - Mas, tipo, a ideia de Newton tá na 1 e 2, não? Isso aqui é em relação ao que?

Turno 552 - A5 - E nesse caso aí seria o que?

Turno 553 - A4 - Que é descrita...

Turno 554 - B1 - Porque se a gente arremessa assim... mas não tem, não tá aí no texto. Não tem no texto não.

Turno 555 - C3 - Então, professor...

Turno 556 - Professor - Vamos lá, gente, pra finalizar.

[Cochicho na sala.]

Turno 557 - A5 - Não sei.

Turno 558 - B2 - Que é garantido?

Turno 559 - C1 - Peraê, gente, rapidinho, a gente tá tentando ver aqui.

Turno 560 - A1 - Não, professor, vai esquentar.

Turno 561 - A2 - Não, professor, meu pé já tá aqui gelado.

Turno 562 - A5 - Pela...

Turno 563 - A4 - Por que não desliga logo isso? São cinco horas.

Turno 564 - A3 - Mudou muita coisa aí, realmente a gente agora tá no calor.

[risos]

Turno 565 - A5 - Pela proposição 1 e 2.

[Cochicho na sala.]

Turno 566 - A1 - Fechou?

Turno 567 - B1 - É...

Turno 568 - A4 - Super errado, mas...

[risos]

Turno 569 - C1 - Faz outra pose aí, rapaz.

Turno 570 - Professor - Então, o argumento coletivo tá fechado?

Turno 571 - Alguns estudantes - Tá.

Turno 572 - Professor - Pode encerrar?

Turno 573 - A5 - Ok, goodbye.

[risos]

Turno 574 - A1 - Pode parar aqui, né?