

## O APRENDIZADO DA SINTAXE DA LINGUAGEM FÍSICA

*Learning the syntax of Physics language*

**Henrique Cesar Estevan Ballester** [hceballester@gmail.com]

*Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática –  
Universidade Estadual de Londrina – PR/Brasil*

**Sergio de Mello Arruda** [sergioarruda@sercomtel.com.br]

*Departamento de Física – Universidade Estadual de Londrina – PR/Brasil*

**Marinez Meneghello Passos** [marinezmp@sercomtel.com.br]

*Departamento de Matemática – Universidade Estadual de Londrina – PR/Brasil*

**Marcos Rodrigues da Silva** [mrs.marcos@uel.br]

*Departamento de Filosofia – Universidade Estadual de Londrina – PR/Brasil*

### Resumo

Vamos discutir neste artigo o processo de aprendizagem de um aluno matriculado em um curso de Introdução à Mecânica Clássica, disciplina ministrada em um curso de pós-graduação em uma universidade do Estado do Paraná, Brasil. Como resultado, apontamos para o fato de que o aluno analisado – formado em Matemática – ainda que tenha participado das aulas, as quais abordaram conteúdos relacionados aos formalismos newtoniano, lagrangeano e hamiltoniano, não conseguiu construir uma aprendizagem significativa da linguagem física, embora tenha sido bem-sucedido na aprendizagem da sintaxe da linguagem física envolvida no curso. Observamos que as dificuldades apresentadas pelo aluno resultaram de: sua falta de referentes e seu baixo conhecimento do vocabulário relacionado ao conteúdo em questão, bem como da falta de subsunções para esse aprendizado.

**Palavras-chave:** Aprendizagem significativa. Aprendizagem da linguagem física. Aprendizado da sintaxe da linguagem física.

### Abstract

We will discuss in this article the learning process of a student enrolled in an introductory course in classical mechanics, subject taught in a graduate course at a university of Paraná, Brazil. As a result, we point to the fact that the student analyzed – degree in Mathematics – although it attended classes that addressed related content to newtonian, lagrangean and hamiltonian formalisms, failed to build a meaningful learning of physical, although he was well succeeded in learning the syntax of the language involved in the course. It was observed that the difficulties presented by the student resulted from: their lack of referents and low knowledge of vocabulary related to the content in question, as well as the lack of subsumers for this learning.

**Keywords:** Meaningful learning. Learning of physics language. Learning the syntax of physics language.

### Introdução

Diante de levantamentos, por nós realizados, em periódicos internacionais da área de Ensino de Ciências, evidenciamos que diversos artigos têm sido publicados, no que se refere ao tema ensino de Física, seja em decorrência de resultados de investigações com alunos de

escolas de secundárias (Ensino Médio) ou com graduandos de instituições de Ensino Superior.

Utilizando como termos *de busca* (Passos; Passos; Arruda, 2010, p. 224) palavras como “Education” e “Physics” nas revistas *Journal of Research in Science Teaching* e *Science Education*, encontramos desde artigos que abordam o estudo da metacognição dos estudantes do Ensino Médio na resolução de problemas recém-adquiridos, de Nielsen, Nashon e Anderson (2009), até o de Sin (2014), que explora a relação entre epistemologia e sociologia, baseada na literatura da História e da Filosofia da Ciência. Também foram localizados artigos que tratam de reconstruções histórico/filosóficas científicas referentes a fenômenos físicos, como, o caso do efeito fotoelétrico de Niaz et al. (2010).

Nessas mesmas revistas citadas, mas inserindo, nos campos de busca, termos como “Learning”, “Problem” e “Solving”, chegou-se ao artigo de Taconis, Ferguson-Hessler e Broekkamp (2001) que sugere que a abordagem tradicional do processo de resolução de problemas no Ensino de Ciências (resoluções individualizadas pelos estudantes) tem sido perpassada por pesquisas que trazem outros métodos, para tornar esse processo mais eficiente. Os autores argumentam que o fornecimento aos estudantes das diretrizes de trabalho, bem como dos critérios de avaliação, favorecem os discentes em seu autojulgamento do aprendizado (p. 442).

Outro artigo encontrado, considerando o procedimento de busca citado a pouco é o de Sherin (2006), que relata investigações a respeito do conhecimento intuitivo – *conhecimento do mundo* – que os alunos trazem para sala de aula durante o processo de aprendizagem do conteúdo formal de Física. A autora argumenta que o conhecimento de Física (intuitiva) desempenha diversos papéis na resolução de problemas formais, principalmente um papel central vinculado à utilização das sentenças envolvidas (p. 535).

Em Mualem e Eylon (2010) os autores exploram as dificuldades apresentadas por alunos secundaristas na utilização de seus conhecimentos para explicar e prever fenômenos físicos. Eles argumentam que as explicações são tarefas de passos múltiplos, para as quais tais alunos não detêm estratégias de resolução para *problemas qualitativos*. Sendo assim, as estratégias tratadas com os alunos – e relatadas pelos autores – foram representações visuais baseadas nas leis de Newton utilizadas para prever e explicar os fenômenos abordados. Tendo como base o pós-teste aplicado, os autores citam que os alunos secundaristas tiveram desempenho melhor se comparados com estudantes de graduação (p. 1094).

No artigo de Yerrick et al. (2003) os autores argumentam que as analogias – que têm um papel fundamental no crescimento conceitual inerente à aprendizagem construtivista – possuem três papéis relacionados à aprendizagem e que estão vinculados ao *processo cognitivo*, ao *entendimento conceitual científico* e aos conceitos sociais para a *resolução de problemas* (p. 443).

A pesquisa desenvolvida por Stamovlasis, Dimos e Tsaparlis (2006) explora a eficiência do trabalho cooperativo entre os alunos, para a solução de problemas conceituais na disciplina de Física. Os autores argumentam que as discussões entre os alunos levam-nos a emitir explicações sobre os fenômenos. Além disso, esse estudo forneceu evidências de que o aprendizado cooperativo pode ser caracterizado como um *processo dinâmico não linear* (p. 556).

Todavia, direcionando a busca por artigos que abordassem as obras dos principais autores que utilizamos como referenciais desta investigação – Thomas Kuhn, David Ausubel e Marco Antônio Moreira –, consideramos como termos disparadores da procura as palavras “exemplars” e “Kuhn”, no primeiro dos levantamentos e “meaningful learning” e “Physics”, no segundo. Encontramos diversos artigos, como o de Airey e Linder (2009) que aborda um estudo interpretativo com estudantes de graduação em Física no intuito de investigar a fluência dos mesmos no discurso disciplinar estudado. Os autores chegam à conclusão de que

a fluência em uma constelação crítica dos modos de discurso (língua falada e escrita, matemática, gráficos, diagramas, ferramentas experimentais etc.) pode ser uma condição necessária, mas nem sempre suficiente, para se ter acesso holístico à aprendizagem significativa; ou como no artigo de Roth (1994), no qual o autor argumenta que os alunos universitários investigados em um laboratório construtivista atingiram uma aprendizagem significativa do conteúdo, durante a interpretação de dados contidos em gráficos, obtendo respostas razoáveis para as questões propostas. Tal autor conclui que devem ser fornecidos aos alunos ambientes de aprendizagem ricos em problemas, para que os mesmos sejam instigados a aprender investigando fenômenos de seu próprio interesse, podendo desenvolver habilidades de resolução de problemas mais complexos.

Entretanto, durante esse levantamento, dois artigos encontrados nos chamaram a atenção de modo especial, são eles: *Thomas Kuhn's impact on Science education – What lessons can be Learned?*, de Michael Matthews (2004) e *Meaningful Learning – The Essential Factor for Conceptual Change in Limite dor Inappropriate Propositional Hierarchies Leading to Empowerment of Learners*, de Joseph Novak (2002), ambos publicados na revista *Science Education*.

Na revista *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (REEC), utilizamos como termos de busca as palavras “Aprendizagem” e “Física” e obtivemos uma lista diversificada, contudo, entre eles pudemos destacar unicamente o artigo de Rosa e Alves Filho (2009) que aborda a forma como a metacognição é referida nas investigações que têm relação com a aprendizagem em Física, e o artigo dos autores Araujo, Veit e Moreira (2007), em que trazem considerações a respeito de simulações computacionais na aprendizagem das Leis de Gauss e Ampère.

Fizemos, também, um levantamento em revistas qualificadas da área, todavia, nacionais: *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* (RBPEC); na *Revista Brasileira de Ensino de Física* (RBEF) e na *Revista Investigações em Ensino de Ciências* (IENCI). Para realização das buscas na RBPEC, utilizamos os termos “Aprendizagem” e “Física” como disparadores. Desse movimento, obtivemos diversos resultados; contudo, ao focarmos a atenção sobre cada um dos artigos ali selecionados, somente um deles tinha relação com o que pretendíamos investigar: o aprendizado de algum conteúdo de Física. Os pesquisadores Sousa, Moreira e Matheus (2005), traziam resultados a respeito da aprendizagem significativa de alunos universitários – utilizando campos conceituais de Vergnaud, frente ao conteúdo de Eletromagnetismo.

O mesmo procedimento foi realizado com a revista RBEF, porém, em virtude de sua especificidade editorial utilizamos, somente, o termo “Aprendizagem” como disparador de busca, contudo nenhum artigo foi encontrado.

Da mesma forma acessamos a revista IENCI, e encontramos três artigos que apresentavam situações em que o processo de aprendizagem da Física estava entre os objetivos da pesquisa ali descrita: Neves, Caballero e Moreira (2006), exploram na investigação o papel do trabalho experimental na aprendizagem em Física; Gaspar e Monteiro (2005) tratavam da otimização do processo de aprendizagem, por meio de atividades de demonstração em sala aula, segundo a teoria de Vygotsky; Villani e Carvalho (2005) destacavam as condições subjetivas das relações estabelecidas pelos entrevistados com o conhecimento, bem como com a entrevistadora, para a elaboração de esquemas mentais vinculados à aprendizagem.

Observando os artigos encontrados, especificamente os de Taconis, Ferguson-Hessler e Broekkamp (2001) e Stamovlasis, Dimos e Tsaparlis (2006), que abordam situações semelhantes à que tratamos neste artigo – o aprendizado da linguagem Física, principalmente mediado pela resolução de problemas – e refletindo sobre os mesmos, bem como sobre nosso problema advindo de nossa vida profissional como professores e pesquisadores a respeito da

aprendizagem dos alunos envolvidos nas tarefas cotidianas em uma sala de aula (aulas teóricas ministradas pelo professor, a resolução de problemas presentes em uma lista de atividades, o estudo e a preparação para as avaliações), vimo-nos diante de inúmeros questionamentos e, dentre eles, selecionamos dois, que apresentamos a seguir: De que forma os estudantes podem se posicionar como aprendizes da linguagem Física? Será que um estudante, formado em Matemática, pode aprender de maneira significativa a linguagem de uma disciplina de *Introdução à Mecânica Clássica*?

Para responder a essas questões (assim como outras) estruturamos um projeto de pesquisa que visou acompanhar o desenvolvimento da disciplina *Introdução à Mecânica Clássica* (ocorrida no ano 2007), disciplina que fazia parte da grade curricular de um Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática de uma Universidade do Estado do Paraná.

Neste artigo trazemos os resultados da análise do processo de aprendizagem de um dos discentes matriculados nesse curso (Aluno A<sub>1</sub>), por isso assumimos essa proposta como um estudo de caso.

Na seção seguinte inserimos alguns esclarecimentos a respeito dos referenciais teóricos utilizados para esta elaboração e para a interpretação das informações coletadas.

### **Alguns esclarecimentos teóricos**

Ainda que não seja abordado neste artigo, destacamos que o pensamento de Thomas S. Kuhn frente à mudança de paradigmas na Ciência teve profunda influência na elaboração de teorias construtivistas do aprendizado científico como, por exemplo, na *mudança conceitual* de Posner et al. (1982, *apud* Matthews, 2004, p. 97). Joseph Novak reconhece que Kuhn foi personagem fundamental para o desenvolvimento de sua própria epistemologia construtivista de *concepções alternativas em crianças* (Novak, 1998, p. 6, *apud* Matthews, 2004, p. 99). Matthews também cita que Nancy Davis – e seus colaboradores – apoiaram-se nos escritos de Kuhn, em *A Estrutura das Revoluções Científicas*, para orientar sua teoria sobre a mudança de paradigmas epistemológicos, em que os autores endossam o *construtivismo* e rejeitam o *objetivismo* (Davis et al., 1993, p. 627, *apud* Matthews, 2004, p. 99).

No mesmo artigo de Matthews, que acabamos de citar, encontramos uma corroboração para nossos pensamentos. O autor cita que Kuhn se manteve interessado, tanto na teoria, quanto na prática do aprendizado da ciência Física, até o fim de sua carreira (2004, p. 96). Amparados nessa argumentação de Michael Matthews – e conhecendo o conteúdo das obras de Thomas Kuhn – julgamos ser oportuna a utilização (somente) das obras desse autor como referências para esta investigação relativa ao aprendizado da *linguagem física* (Kuhn, 2003, p. 42).

Sendo assim, encontramos nas obras de Thomas S. Kuhn (1977; 2000; 2003 e 2006) relevantes informações a respeito do processo de aprendizagem dessa linguagem. Em sua obra de 2003, Kuhn indica que os termos presentes nessa linguagem possuem conexões com o mundo material e acrescenta que “[...] qualquer coisa que se saiba sobre os referentes de um termo pode ser útil para a conexão desse termo à natureza” (p. 42). A utilidade de tudo aquilo que se sabe sobre os referentes dos termos estudados, em geral, vem acompanhada de outras, também influentes na determinação e discriminação dos termos *referentes* em questão. Dessa forma, consideramos que a referência vincula-se, de maneira direta, ao fenômeno estudado.

Kuhn também destaca que mudanças revolucionárias na ciência Física envolvem mudanças na linguagem empregada, tendo em vista a existência de mudanças de ligação dos termos envolvidos com a natureza, assim como por *extensão* a soma total de objetos ou até mesmo *situações* às quais os termos se vinculam (Kuhn, 2003, p. 42).

Sendo assim, um estudante envolvido na atividade de resolução de problemas, por exemplo, passará por um processo de interpretação – nesses problemas existem conceitos e leis Físicas imbricadas. Portanto, na concepção kuhniana, um aprendiz da linguagem física é um *intérprete* (Kuhn, 2003, p. 81).

Diante dessas considerações é interessante destacar o papel holístico proposto por Kuhn, ainda que de modo parcial, aos termos concomitantes que necessitam *ser aprendidos* pelas pessoas “[...] educadas no interior de uma cultura científica ou de outro tipo [...]”, ele também sugere que um “[...] holismo local deve ser uma característica essencial da linguagem [...], pois línguas diferentes impõem ao mundo estruturas diferentes” (Kuhn, 2003, p. 69).

Essas colocações nos levam à seguinte possibilidade: o aprendizado em Física requer que um considerável vocabulário – rico o suficiente – esteja contido no conhecimento (ou estrutura cognitiva) dos aprendizes para que possam “[...] fazer a referência a objetos físicos e suas localidades no espaço e no tempo”, assim como “[...] um vocabulário matemático rico o suficiente [...]” que permita que sejam descritas, de forma quantitativa, as trajetórias e se faça a análise das velocidades e acelerações dos corpos que se movem (Kuhn, 2003, p. 86).

Geralmente, os termos a serem apreendidos são apresentados por meio da

[...] exposição de exemplos de seu uso, providos por alguém que pertença à comunidade linguística na qual são costumeiros [...] por alguém que já sabe como utilizá-los (Kuhn, 2003, p. 86).

Nesse processo de aprendizagem, os termos são exibidos de maneira direta ou por meio de descrição de situações para as quais eles são aplicados. Esse processo é designado por Kuhn como *ostensão* (2000, p. 12) e, ele esclarece que, durante a resolução de problemas, o aluno aprende a encará-los como se fossem aqueles já encontrados anteriormente (Kuhn, 2006, p. 236).

Dessa forma, a aprendizagem que resulta desse processo não é de palavras soltas, mas sim a respeito do mundo no qual elas funcionam (Kuhn, 2006, p. 236), já que os termos de uma linguagem

[...] constituem um conjunto inter-relacionado ou interdefinido que deve ser adquirido conjuntamente, num todo, antes que qualquer um deles possa ser usado e aplicado a fenômenos naturais (Kuhn, 2006, p. 60).

Os termos apreendidos pelos sujeitos que participam da comunidade científica serão utilizados nas expressões decorrentes da comunicação entre eles – frente ao consenso de ideias, elaboração de projetos, resolução de problemas, assimilação da teoria proposta e até mesmo na suposta melhoria e avanço da teoria inicial.

Partindo desse ponto, é necessário que os membros desse grupo compartilhem significados de conceitos apreendidos, formando – cada um em si, mas de maneira equivalente – o *léxico* ou *vocabulário* (Kuhn, 2003, p. 85) no qual os fenômenos de certa ciência são descritos e explicados.

Após essa exposição das ‘ideias’ relativas à linguagem física e à constituição de um léxico, trazemos alguns esclarecimentos a respeito do que assumimos por aprendizagem e quais são os balizadores que evidenciam as compreensões a que chegamos com esta investigação.

Ainda que, muito se tenha discutido, em trabalhos publicados, sobre a teoria da aprendizagem significativa (como naqueles citados na introdução deste artigo), bem como, no

artigo de Novak, em que o autor sugere que o mapeamento conceitual pode ser utilizado como forma eficaz de se obter *aprendizagem significativa*, recorrendo a mapas conceituais e ao diagrama V de Gowin, podendo levar à modificação da *estrutura de conhecimento do aluno* (Novak, 2002, p. 548). As ideias centrais desse tipo de aprendizagem continuam inalteradas, como propostas por Ausubel, Novak e Hanesian (1980), de modo que, sob nosso ponto de vista, sua utilização pode ser feita de acordo com a linha teórica que será apresentada na sequência. Porém, antes de seguirmos com essa exposição, gostaríamos de destacar uma passagem na qual Novak, em seu artigo citado a pouco, faz uma importante inferência a respeito da resolução de problemas em grupo, para a obtenção da aprendizagem significativa que vem ao encontro do que exploramos neste momento. O autor afirma que a resolução de problemas em grupos colaborativos facilita a *aprendizagem significativa* e a nova organização do *conhecimento* pelos alunos (Novak, 2002, p. 549).

De acordo com Moreira (2011), a aprendizagem significativa, segundo Ausubel, pode ser entendida como um processo de interação da nova informação com conceitos ou proposições existentes na *estrutura de conhecimento do sujeito* e a questão central tratada nessa aprendizagem é a incorporação não arbitrária da nova informação na estrutura cognitiva do aprendiz (Moreira, 2011, p. 161). O autor esclarece que aquilo que o aprendiz considera relevante – para o seu conhecimento – em relação ao que foi aprendido, servirá como ideia âncora ou *subsunçor* (p. 161).

Durante o desenvolvimento desta pesquisa estamos nos referindo à ideia âncora como sendo um apoio<sup>1</sup> para que o estudante inicie a aprendizagem da nova informação a ser estudada; para aquilo que é o objeto da aprendizagem. Dessa forma, os subsunçores avançam de acordo com a ocorrência do processo de aprendizagem: significativa.

Cabe destacar também que para Moreira (1997, p. 20):

O conhecimento prévio serve de matriz ideacional e organizacional para a incorporação e fixação de novos conhecimentos, quando estes se “ancoram” em conhecimentos especificamente relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva.

Durante nossa análise de dados, evidenciamos a aprendizagem significativa do aluno em estudo segundo três tipos<sup>2</sup> básicos: *aprendizagem representacional*, *aprendizagem proposicional* e *aprendizagem de conceitos* (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. 39; Moreira, 2011, p. 165), que descrevemos de forma resumida a seguir.

Aprendizagem representacional: Relaciona-se com o significado de símbolos (tipicamente palavras) ou a aprendizagem do que eles representam (Moreira, 1997, p. 20).

Aprendizagem proposicional: Se refere aos significados de ideias expressas por um grupo de palavras (Moreira, 1997, p. 20), ou seja, o significado de uma proposição. Ainda que palavras representem conceitos, nesse caso, o que se tem é algo além da “[...] soma dos significados das palavras ou conceitos que compõem a proposição” (Moreira, 2011, p. 165). Como podemos citar o aprendizado da conhecida sentença

<sup>1</sup> Ao longo de nossos estudos sobre o tema, entendemos que os subsunçores equivalem às primeiras colunas que sustentam o início da aprendizagem do aluno. Por exemplo, podemos citar o tópico “aceleração da gravidade”. Ao tratar desse assunto, o aluno precisa ter claro o conceito de campo, que gera a grandeza física da “aceleração” dos corpos. Isso fará com que a junção dos conceitos “aceleração” e “gravidade” possa servir de base para que outro subsunçor (aceleração da gravidade) seja constituído pelo sujeito.

<sup>2</sup> O quarto tipo, é a aprendizagem combinatória. Ela ocorre quando as proposições a serem aprendidas não são subordinadas às proposições existentes e relevantes na estrutura cognitiva do sujeito (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. 50). Moreira (1997, p. 21) descreve esse tipo de aprendizagem como *generalizações* vastas e detalhadas, tais como vinculações entre *massa e energia*, *calor e volume* etc.

da segunda lei de Newton ( $\vec{F} = m\vec{a}$ ).

Aprendizagem de conceitos: É um caso da aprendizagem representacional (Moreira, 1997, p. 20), pois *conceitos são representados* por signos. No entanto, eles são genéricos e categóricos. Seus atributos devem ser abstraídos (Moreira, 2011, p. 165, grifo nosso).

### Encaminhamentos metodológicos

Os resultados que trazemos neste artigo são oriundos de uma investigação desenvolvida no âmbito de um programa de pesquisa que visa compreender o aprendizado da linguagem física.

Dois artigos com diversas considerações a respeito desse processo já foram produzidos, um deles publicado no ano de 2010 (Ballesteros; Arruda) e outro submetido no ano de 2015. O primeiro analisa a aprendizagem de um dos sujeitos da pesquisa (discente A2) quanto à eficácia da avaliação formativa que foi aplicada durante a situação de tomada de dados. O segundo artigo aborda a expansão do vocabulário ou léxico demonstrada pelo discente A5. Cabe lembrar que para este artigo nosso estudo está sendo com o discente A1, considerando para análise: os registros produzidos por ele em sala de aula, durante a resolução dos problemas e as avaliações; seus depoimentos no decorrer das aulas e em momentos de entrevistas – coletivas e individuais. Destacamos também que na continuidade deste programa iremos analisar os registros e os depoimentos dos outros dois discentes (A3 e A4) que fizeram parte do grupo de alunos matriculados neste curso.

Pelo fato de estarmos considerando para cada movimento analítico um dos sujeitos da nossa pesquisa e, por focarmos em cada momento um ‘elemento’ dentro dessa busca por compreensão do processo de aprendizagem da linguagem física é que assumimos a pesquisa como estudo de caso, pautados no que nos apresentam Lüdke e André (1986, p. 17).

O estudo de caso é o estudo de *um* caso, seja ele simples e específico [...] ou complexo e abstrato [...]. O caso é sempre bem delimitado, devendo ter seus contornos claramente definidos no desenrolar do estudo. O caso pode ser similar a outros, mas é ao mesmo tempo distinto, pois tem um interesse próprio, singular. [...] o caso se destaca por se constituir numa unidade dentro de um sistema mais amplo. O interesse, portanto, incide naquilo que ele tem de único, de particular, mesmo que posteriormente venham a ficar evidentes certas semelhanças com outros casos ou situações. Quando queremos estudar algo singular, que tenha um valor em si mesmo devemos escolher o estudo de caso.

Como parte principal da metodologia de análise de dados utilizamos a análise textual discursiva proposta por Moraes (2003). Nesse instrumento analítico o que se tem é um *exercício de elaborar sentidos* (p. 193), por meio da unitarização do *corpus* de dados tratado. Neste artigo podemos apontar para os episódios encontrados durante as resoluções de problemas como pontos principais dos quais emergiram os enunciados referentes à proposta de análise. De posse das propostas, fizemos sua categorização, construindo “[...] relações [...] entre as unidades base” (Moraes, 2003, p. 192 e p. 196-197). As unidades base foram obtidas de acordo com as dificuldades apresentadas pelo aluno A1 frente aos fundamentos do aprendizado da linguagem física encontradas nas obras de Thomas Kuhn. Essas dificuldades se relacionaram com: os referentes dos termos empregados durante a resolução dos problemas; o vocabulário envolvido; os conceitos e as equivalências de signos na Mecânica

Clássica; a vinculação entre o problema proposto e os signos implicados em sua resolução; a determinação de sentenças a serem utilizadas nos problemas.

A seguir, dentro desta seção em que apresentamos a metodologia assumida durante a investigação, trazemos informações a respeito dos sujeitos pesquisados e diversos detalhes sobre o curso de que participaram. Essas descrições podem ser necessárias para a compreensão de algumas evidências, inferências e interpretações que explanamos na seção em que expomos os dados e as considerações relativas a eles.

Aluno A1 (discente estudado neste artigo): Formou-se em Ciências – licenciatura curta. Depois de três anos, retoma os estudos e complementa a licenciatura curta com habilitação em Matemática no ano de 1992. Depois desse período, fez especialização em Educação Matemática e, em seguida, mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Aluno A2 (estudando no primeiro artigo produzido): Formou-se em Matemática no ano 2000 e concluiu sua pós-graduação, em nível de especialização, no mesmo ano. Durante as entrevistas relatou que durante sua graduação teve “um contato muito pequeno com conteúdos relacionados à Física”. Fato decorrente de sua formação: licenciatura curta (três anos), com habilitação em Matemática (mais um ano).

Aluno A3: Graduou-se em Física no ano de 1994 com habilitação em licenciatura plena. Após ter reprovado em algumas disciplinas do mestrado em Física Aplicada, dedicou-se à área de Ensino e concluiu o Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática no ano de 2006. Durante uma das entrevistas, A3 relatou que durante sua formação teve contato com conteúdos referentes à Mecânica Clássica, entretanto, somente com o formalismo newtoniano.

Aluno A4: Obteve sua graduação em Física com habilitação em licenciatura plena no ano de 2006. Ao final do mesmo ano entrou no programa de Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática como aluno regular. Segundo seus depoimentos, durante a sua graduação só teve contato com o formalismo newtoniano na disciplina cuja temática central era Mecânica.

Aluno A5 (estudado no segundo artigo produzido): Formou-se em Física com dupla habilitação – bacharelado e licenciatura – no ano de 1991. Anos após obter o título de graduado, fez uma especialização em administração escolar. Iniciou por várias vezes alguns mestrados, todavia, segundo suas declarações durante as entrevistas, acabou abandonando-os por inúmeros motivos. Entre seus relatos consta também que em seu curso de graduação teve contato com diversos formalismos no âmbito da Mecânica Clássica.

Com relação ao curso investigado, ele foi estruturado em três módulos segundo diferentes abordagens da Mecânica: módulo 1 – formulação newtoniana; módulo 2 – formulação lagrangeana; módulo 3 – formulação hamiltoniana. Para o final de cada módulo foi organizada e aplicada uma avaliação, sendo que os problemas apresentados nas três avaliações eram sempre os mesmos, contudo, suas resoluções deveriam ser desenvolvidas segundo a abordagem respectiva daquele módulo – newtoniana, lagrangeana ou hamiltoniana.

Ao longo do módulo 1 os problemas exigiam a aplicação das leis de Newton em suas soluções. Na maior parte dos casos tratados, os alunos deveriam encontrar as equações de movimento<sup>3</sup> – na forma newtoniana – e resolvê-las, encontrando a função  $x(t)$ .

Os problemas abordados no curso consistiram em encontrar a equação diferencial de movimento para pêndulos duplo, simples e balístico; problemas que tratavam do momento

---

<sup>3</sup> A equação de movimento para cada partícula pode ser definida como sendo  $\sum_i m_i \frac{d^2 r_i}{dt^2} = F_i^{(t)}$ .

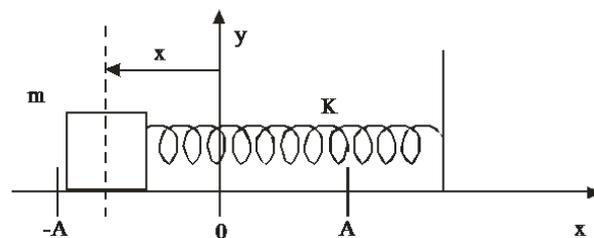
linear ( $\vec{p}$ ); problemas que abordavam o deslizamento de corpos no plano inclinado (cunhas fixas e móveis); máquinas de Atwood; sistemas massa-mola (horizontal, vertical e inclinado); assim como movimentos em uma dimensão (horizontal, vertical e inclinado) com e sem forças resistivas.

Para que se tenha certa clareza a respeito dessas situações vivenciadas em sala de aula, trazemos, a seguir, os problemas que foram resolvidos e discutidos pelo professor, com seus alunos, durante as aulas ministradas. Junto a cada um dos problemas, indicamos a que módulo ele pertencia, informação essa que utilizaremos em momentos posteriores neste artigo.

Problema: oscilador massa-mola (no eixo x) – módulo 1.

A figura abaixo mostra um sistema massa-mola ideal. O corpo de massa  $m$  oscila preso a uma mola de constante  $K$  em torno do ponto  $O$ . A amplitude do movimento é  $A$  e a lei de Força é dada pela lei de Hooke.  $x$  mede a distância entre a massa  $m$  e o ponto  $O$ . Despreze o atrito. (a) Escreva as equações de movimento na forma newtoniana. (b) Resolva as equações de movimento e encontre  $x(t)$ .

Figura 1: Oscilador massa-mola ideal

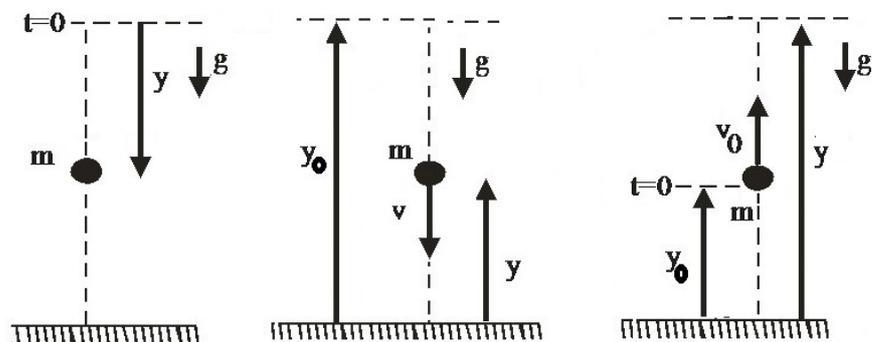


Fonte: os autores

Problema: queda livre – módulo 1.

A figura 2 mostra uma partícula em queda livre a partir do repouso. Despreze o atrito com o ar. (a) Encontre as equações de movimento na forma newtoniana. (b) Resolva as equações de movimento e encontre  $y(t)$ .

Figura 2: Partícula em queda livre



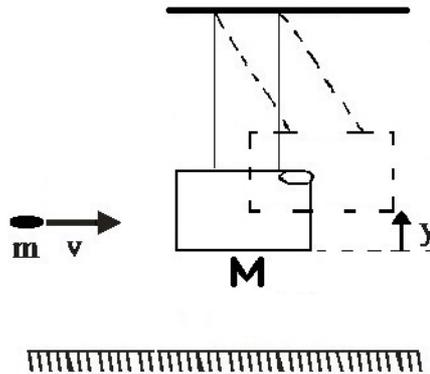
Fonte: os autores

Problema: pêndulo balístico – módulo 1.

O pêndulo balístico – utilizado para medir a velocidade de balas – consiste num grande bloco de madeira de massa  $M$  suspenso por duas cordas. Quando se dispara

uma bala de massa  $m$  e velocidade  $v$  contra o pêndulo, a bala nele penetra fazendo com que o bloco oscile, elevando-se a uma altura máxima  $y$ . Considere que o tempo de colisão entre a bala e o bloco é muito menor que o período de oscilação do pêndulo e que as cordas permanecem na vertical durante a colisão. Encontre a expressão que dá a velocidade  $v$  da bala em função de  $m$ ,  $M$  e  $y$ .

Figura 3: Pêndulo balístico



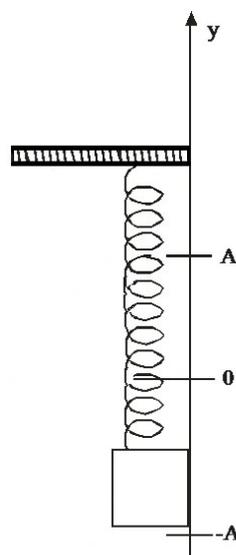
Fonte: os autores

Durante o módulo 2 (em que foi considerada a formulação lagrangeana), os estudantes deveriam aplicar o conceito da lagrangeana para a solução dos problemas, encontrando a lagrangeana do sistema e as equações de Lagrange para o que tinha sido proposto. Todavia, cabe esclarecer que, para a solução dos problemas era necessário que os alunos obtivessem os signos  $T$  e  $V$  – juntamente com as sentenças que os compunham – e, na continuidade da resolução, os inserissem na equação de Lagrange, que é definida por  $L = \left[ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} \right]$ .

Problema: oscilador massa-mola – módulo 2.

Considere um sistema massa-mola na vertical. Despreze as perdas. Encontre: (a) A lagrangeana do sistema; (b) As equações de Lagrange para o problema.

Figura 4: Oscilador massa-mola na vertical

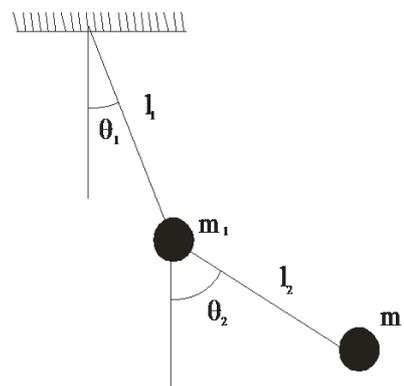


Fonte: os autores

No módulo 3 (em que foi considerada a formulação hamiltoniana), as coordenadas generalizadas, bem como o momento generalizado, foram tratados como duas componentes independentes uma da outra. Nesse formalismo os alunos deveriam obter a lagrangeana –  $L = (q; \dot{q}; t)$  – encontrando os momentos  $p(q; \dot{q}; t)$ , formulando a hamiltoniana<sup>4</sup>.

O problema sob o qual lançamos nossa atenção – e trazemos neste artigo – foi o do pêndulo duplo. Nele era solicitado que o estudante encontrasse a hamiltoniana e as equações de movimento para o caso tratado.

Figura 5: Pêndulo duplo



Fonte: os autores

Ao longo do curso o professor da disciplina planejou aulas nas quais os alunos eram convidados a discutir com o professor e seus demais colegas de turma a solução dos problemas propostos. Esses problemas cumpriam, segundo o que consideramos para o desenvolvimento desta investigação, a função dos *exemplares*<sup>5</sup> como nos indica Kuhn (1977, p. 235), com a finalidade de que os estudantes iniciassem suas aprendizagens ou seus processos de aprendizagem. Essas discussões auxiliaram o professor da disciplina na elaboração de avaliações condizentes com a relação dos tópicos mais importantes que vinham sendo destacados ao longo do curso.

### Apresentação e análise dos dados

Os registros analisados para o caso do aluno A1 contam com as transcrições das correções (ou resoluções) de problemas em sala e de seus depoimentos sobre essas resoluções, quando ele foi convidado a conversar sobre elas e seus relatos foram gravados e posteriormente transcritos.

No início do curso – na correção da prova 0 (prova zero) – o aluno A1 evidencia a compreensão tida por ele, em relação à segunda lei de Newton, até esse momento do curso. Indicamos que junto a cada depoimento inserimos a situação em que a manifestação do aluno ocorreu. Isso nos auxiliou na elaboração de diversas considerações a respeito do seu processo

<sup>4</sup> Nesse estágio ela ainda será uma função  $h(q; \dot{q}; t)$ , ou ainda uma função que mistura  $q, \dot{q}, p$  e  $t$ . A partir desse ponto deve-se substituir  $\dot{q}(q; \dot{q}; t)$  em  $h(q; \dot{q}; t)$  para se obter  $H(q; p; t)$  que é uma função  $H = \sum \dot{q}p - L$ , ou ainda  $H = T + V$ . Essa inversão de coordenadas se deve ao fato da necessidade de se deixar  $H$  em função de  $p$ .

<sup>5</sup> Na obra *A tensão essencial* de Thomas S. Kuhn (1977), o autor trata de problemas como o de queda livre, oscilador massa-mola entre outros – como *exemplares*. Eles possuem um papel de suma importância, pois mediante suas resoluções os estudantes passaram a ter uma interação maior com as *regras* e *teorias* nas quais estão baseados os conhecimentos científicos (Kuhn, 1977, p. 235).

de aprendizagem, fenômeno sobre o qual buscamos compreensões.

*Pois é... Eu usei essa fórmula  $F=ma$ , não sei, eu estava falando pro A2 aqui, acho que deu pra fazer o 1, o 2... Eu não parti daquele princípio não, fui pela fórmula direto.*

*(Correção da prova zero – aluno A1)*

De acordo com a fala do aluno, durante a correção da prova 0, entendemos que A1 resolveu a prova fazendo uso das sentenças que conhecia – que no caso era a segunda lei de Newton. Ou seja, para A1, nas situações expostas nos problemas, ele procedia sem analisar o problema de acordo com os conceitos e os princípios apreendidos em cursos anteriores, como no ensino médio ou na sua graduação, por exemplo. Era simplesmente a aplicação da “fórmula” que ele lembrava.

Ainda que fosse o início do curso, destacamos que o aluno A1 não teve a devida cautela para trabalhar com os *referentes* propostos por Kuhn (2006, p. 42) para interpretar um problema: “[...] qualquer coisa que se saiba sobre os referentes de um termo pode ser útil para a conexão desse termo com a natureza”.

Durante a correção do exercício a respeito do pêndulo balístico A1 assim se expressa:

*A1: Tá, ali é energia de  $m_1$  igual a energia de  $m_2$ . É isso?*

*Professor: Ali é o seguinte:  $E_m$  é energia mecânica. Energia mecânica é definida como energia cinética mais energia potencial. A energia potencial é nula no início e a cinética se anula no fim.*

*A1: Por que a primeira é dividida por 2?*

*Professor: É porque a energia cinética é  $\frac{1}{2}mv^2$ .*

*A1: Ah, tá.*

*O que é o  $g$  mesmo?*

*Professor:  $g$  é a aceleração da gravidade.*

*(Resolução de problemas em sala de aula – módulo 1 – abordagem newtoniana)*

Por meio desse diálogo (que trazemos aqui descrito, pois existem outros, mas em um artigo fica impossível apresentar todas as informações coletadas), podemos evidenciar que A1 não possuía um vocabulário preliminar rico o suficiente a fim de proceder com esse aprendizado, já que para Kuhn (2006, p. 86) é necessário:

[...] fazer a referência a objetos físicos e suas localidades no espaço e no tempo [...] um vocabulário matemático que permita com que se descreva, de forma quantitativa, as trajetórias e se faça a análise das velocidades e acelerações dos corpos que se movem.

Esse episódio nos possibilita inferir que A1 em decorrência de sua estrutura cognitiva pode contar com poucos *organizadores prévios* já que:

O conhecimento prévio serve de matriz ideacional e organizacional para a incorporação e fixação de novos conhecimentos quando estes se “ancoram” em conhecimentos especificamente relevantes (subsunoeres) preexistentes na estrutura cognitiva [...] organizadores prévios são a ponte entre o que ele sabe e aquilo que ele passará a saber de forma significativa facilitando a aprendizagem (Moreira, 2011, p. 20 e 163).

Os fatos expostos nos levam ao entendimento de que uma *aprendizagem significativa*

*representacional* seria uma possível porta de entrada para que o aluno atingisse uma aprendizagem significativa do conteúdo abordado, ou seja: “[...] o aprendizado dos símbolos ou aprendizagem do que eles representam” (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. 39; Moreira, 1997, p. 20).

O aluno A1 relata sobre suas dificuldades em uma conversa com o professor:

*Acho que o problema da gente é essa questão de conceito, né. Pra aplicar aqui é uma grande dificuldade. É mais uma questão de conceito mesmo.*  
(Resolução de problemas em sala de aula – módulo 1 – abordagem newtoniana)

Esse depoimento de A1 corrobora com o que havíamos destacado anteriormente, a falta de referentes frente ao conteúdo exposto, e relembramos que: os referentes são úteis, pois vêm acompanhados de outros para que “haja conexão desse termo com a natureza” (Kuhn, 2006, p. 42).

Na resolução do problema que envolvia um oscilador massa-mola no módulo 1 – formulação newtoniana – o professor teve de explicar para A1 o significado de um dos signos utilizados por ele na resolução:

*A1: O que é que você pôs lá?*

*Professor: Onde?*

*A1: Na primeira linha lá de cima  $\frac{dv}{dt}$ ...*

*Professor: Eu estou aqui, ó:  $\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega x$  onde  $\omega = \frac{k}{m}$ . Esse ‘carinha’ aqui  $\frac{d^2x}{dt^2}$ , na verdade é aceleração, então eu posso trocar o  $\frac{d^2x}{dt^2}$  pelo  $\frac{dv}{dt}$ .*

*A1: Ah... entendi.*

(Resolução de problemas em sala de aula – módulo 1 – abordagem newtoniana)

Essas explicações e os retornos dados por A1, obtidos dos dados transcritos das aulas gravadas em áudio e vídeo, nos levam a considerar que A1 desconhecia as equivalências de signos utilizados na Mecânica Clássica, por exemplo, os signos  $\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt}$ , necessário para a obtenção da solução do problema. O que nos leva a concluir que até esse momento do curso ele não demonstrava ter passado por uma aprendizagem significativa representacional.

Em outro problema, que envolvia um sistema massa-mola na vertical, em que era preciso encontrar a equação de movimento para o caso em estudo, a resolução executada na lousa por um dos alunos do curso, a pedido do professor, não continha todas as sentenças envolvidas na resolução (pois o estudante suprimiu algumas, a fim de agilizar o processo de escrita na lousa). Essas passagens suprimidas geraram o seguinte diálogo:

*A5: [...] A força elástica atua pra cima e o peso pra baixo. Então eu coloquei assim:  $\frac{d^2y}{dt^2} = \omega^2 y - g$ .*

*Professor: O y está pra baixo ou pra cima?*

*A5: Bom, se o eixo for pra baixo isso aqui inverte. Onde foi que eu errei?*

*Professor: Eu acho que está certo, mas eu vou refazer de uma forma mais didática, porque eu não sei se todo mundo entendeu o que você fez.*

*Gente, tudo bem aí ou não?*

*A1: Não.*

*Professor: O que é que não está bem, A1?*

*A1: Ah... Eu não entendi, só isso. Eu não entendi o que o A5 fez.*

(Resolução de problemas em sala de aula – módulo 1 – abordagem newtoniana)

Dando continuidade ao que pudemos interpretar nesta investigação, trazemos agora para ilustrar nossas percepções sobre esse processo, alguns relatos ocorridos durante o desenvolvimento do módulo 2 – formulação lagrangeana. Nesta situação aqui exposta o professor trouxe o problema denominado por ele de 6<sub>a</sub>, que envolvia um sistema massa-mola na horizontal. A proposta indicada para os alunos do curso era “encontrarem a lagrangeana e as equações de movimento para o problema” (Professor).

A essa altura do curso, A1 comentou que, ainda, possuía dificuldades em fazer a vinculação entre o problema exposto e os signos envolvidos em sua resolução. Observem alguns de seus comentários:

*A1: Agora não tem aquele m, g?*

*A4: Agora não. Tem o x.*

*A1: Tem o x por quê?*

*A4: Tem o x porque (fazia gestos com a mão).*

*A1: É na horizontal então...*

(Resolução de problemas em sala de aula – módulo 2 – abordagem lagrangeana)

Ele também não conseguia determinar a sentença que serviria para a resolução do problema:

*A1: Por que que lá é mgy e aqui é  $\frac{1}{2}kx^2$ ?*

*A4: Porque aqui é mola.*

*A1: Então, quando é mola é  $-\frac{1}{2}kx^2$ .*

*A4: É só substituir agora.*

*A1: Calma gente, vamos com calma!*

(Resolução de problemas em sala de aula – módulo 2 – abordagem lagrangeana)

Entretanto, na finalização do exercício, A1 demonstra estar compreendendo a sintaxe envolvida na resolução de problemas pelo método de Lagrange:

*A1: Por que que a gente tinha colocado negativo?*

*A3: Porque a gente pensou que fosse restauradora.*

*A4: É.*

*A1: Na verdade não é?*

*A4: A energia não, a força é.*

*A3:  $\ddot{x} = -\frac{Kx}{m}$ . Derivada e derivada parcial agora.*

*(A1, A3 e A2 acompanham atentamente o que A4 está escrevendo na lousa e continuam o diálogo)*

*A3: É Kx né?*

*A1: (pergunta para A4) Passa pra cá, vai dar x né? Menos... aí vou manter aqui e vai dar zero mais (+)... Aí vai sobrar o Kx (-) vou ficar bom nisso, A3, um dia vou dar aula disso.*

(Resolução de problemas em sala de aula – módulo 2 – abordagem lagrangeana)

Como podemos constatar desde o início da exposição de dados (selecionados para a construção da nossa argumentação neste artigo), A1 possuía grandes dificuldades em estabelecer seus referentes para os problemas tratados. Fatos que nos levam a concluir que o estudante não conseguiu atingir o *status* do intérprete de uma linguagem, como proposto por Kuhn:

[...] intérprete pode, inicialmente, dominar apenas uma única língua. [...] a

interpretação é o processo por meio do qual é descoberto o uso desses termos [...] (Kuhn, 2006, p. 61 e 81).

A falta de referentes em sua estrutura cognitiva contribuía para seu não posicionamento como um intérprete da linguagem abordada. Isso fez com que dificuldades como esta ocorressem:

[...] dificuldade assim: quando é que eu vou utilizar energia cinética e quando é que eu vou usar a energia potencial.

(Correção/resolução de problemas em sala de aula – formulação newtoniana)

Entretanto, durante a resolução do problema de queda livre pelo método de Lagrange, A1 demonstra ter adquirido o entendimento de alguns signos, como  $\dot{y}$  e  $\dot{q}$ :

A1: O que está aí do lado?

Professor: É que o  $L$  é uma função de  $\dot{y}$  e de  $y$ . Ou de  $q$  e  $\dot{q}$ .

A1: Ah é, os dois são iguais.

(Resolução de problemas em sala de aula – módulo 2 – abordagem lagrangeana)

Na sequência, trazemos alguns excertos coletados durante o desenvolvimento do módulo 3 em que o método de Hamilton era o considerado pelo professor. Para ilustrar focamos no problema 13 (pêndulo duplo). Nesta situação foi possível constatar que o aluno A1 participa ativamente da resolução com os demais alunos do grupo, demonstrando que seu aprendizado da sintaxe envolvida no tratamento das sentenças durante módulo de Hamilton estava em curso. Vejamos:

A1:  $\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$ . Olha, aqui vai dar 1 e vai sobrar:  $2l_1^2$  e vai sobrar uma constante...

A4:  $2l_1^2\theta_1^2$ , aqui vai multiplicar...

(A1 observa o que A4 faz em seu caderno)

A1: Humm, tá... tá certo.

A4: Agora esse daqui, a mesma coisa: +.

A1: Ah, você faz separado primeiro...

A4: É que eu não posso somar.

A2: E agora?

A4: Nós estamos somando simplificando...

A2: Simplificando, ahann...

A4:  $\dot{x}_2^2$  e  $\dot{y}_2^2$ ...

A1: Soma esse com esse e depois esse com esse, né?

A4: Sim. Iiiiih, não tem jeito de voltar não, hein...

A2: Tinha um Lagrange diferente, ó, tinha um  $\dot{z}^2$ , ó... Tinha um  $\dot{x}^2$  e  $\dot{y}^2$  e embaixo tinha um  $\dot{z}^2$ ... Esse também pode ser, ó...

A4: Tá, mas aí é porque é outro... aí é porque é coordenadas...

A1: Oh, lá atrás a gente pegou esse com esse e nós tivemos mais dois aqui que...

A2: Por que não soma aqui?

A4: Porque aqui a gente não pode fazer isso. A única coisa que tem em comum é  $2l_1l_2$ ...

A1:  $\theta_1$  e  $\theta_2$ .

A4: É comum. Então a gente vai somar esses dois.

(eles procuram exercícios similares no caderno)

A1: Aqui é diferente também, oh...

A4: Aqui a gente não pode...

A2: Ele é diferente aqui, oh...

A4: Isso.

A2: O  $\dot{y}$  nunca é negativo, né? Tá ficando algum negativo, ou não?

A4: Não.

A2: Agora... Você não pode somar esse com esse?

A4: Não pode.

A1: (falando sozinho) Então vai ser  $l_1, l_2, \theta_1$  e  $\theta_2$ .

A2: Você não pode somar esse com esse, ó?

A4: Então  $T_2$  vai ficar:  $T_2 = \frac{1}{2}m_2...$  Eu não coloquei porque vai ficar...

A1: Então vai sobrar  $2l_1l_2\theta_1$  e  $\theta_2...$  Tudo dentro dos parênteses, né?

A4: (balança a cabeça como sim). Eu não sei se coloco ele isolado ou deixo... Não, vou deixar ele aqui, porque na hora que eu for trabalhar com... na hora que a gente for montar a lagrangeana, a gente vai derivar ela...

A1: Humm...

A4: Então deixa que fica mais fácil de visualizar... [...].

(Resolução de problemas em sala de aula – módulo 3 – abordagem hamiltoniana)

Destacamos que sua aprendizagem a respeito dos conceitos, princípios e leis físicas foi limitada, assim como o estabelecimento de referentes, segundo Kuhn, aos conceitos abordados no curso.

### Considerações finais

Logo no início do curso pudemos constatar que A1, quando exposto aos problemas, não pensava em termos de conceitos, leis e princípios físicos envolvidos na situação. Ele simplesmente fazia uso das sentenças que conhecia, em decorrência de estudos anteriores, como pudemos verificar no início de nossa exposição de dados em que a segunda lei de Newton era o foco das atenções.

Também foi possível perceber, no decorrer das aulas, situações em que A1 evidenciou desconhecer certos conceitos preliminares utilizados na disciplina *Introdução à Mecânica Clássica*, que acompanhamos dia a dia coletando os dados. Recuperamos esse fato, retomando o seguinte diálogo:

A1: Por que a primeira é dividida por 2?

Professor: É porque a energia cinética é  $\frac{1}{2}mv^2$ .

A1: Ah, tá. O que é o  $g$  mesmo?

Professor:  $g$  é a aceleração da gravidade.

(Resolução de problemas em sala de aula – módulo 1 – abordagem newtoniana)

Em continuidade, tem-se o fato de que A1 apresentava um número reduzido de *subsunçores* (Moreira, 2011, p. 163) relativos ao conteúdo abordado, o que comprometia o início de sua aprendizagem, já que, para nós, os subsunçores são como as primeiras colunas existentes no conhecimento do sujeito e servem para sustentar o início de sua aprendizagem. Isso nos remete ao que destaca Moreira quando argumenta que o conhecimento prévio tem o papel de *matriz ideacional* na qual os novos conhecimentos são fixados, ancorando-se na estrutura cognitiva do aprendiz (Moreira, 2011, p. 20).

Todavia, durante o desenvolvimento do módulo de Lagrange, é possível observar o início do processo de aprendizagem do aluno A1, relacionado à linguagem física via sintaxe (lógica do raciocínio), durante a resolução de problemas juntamente com outros alunos da turma que eram mais fluentes nessa linguagem.

De certa forma havíamos sugerido que uma *aprendizagem significativa*

*representacional* (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980, p. 39; Moreira, 1997, p. 20) era uma possível porta de entrada para a aprendizagem significativa desse conteúdo. Entretanto, um semestre letivo (período de nossa coleta de dados com esta turma de alunos) não foi suficiente para que A1 atingisse essa aprendizagem.

Além disso, A1 não conseguiu se enquadrar como intérprete da linguagem da forma proposta por Kuhn (2006, p. 61), já que, segundo o autor, é com a interpretação que se descobre o uso dos signos tratados.

Destacamos também que, ainda que A1 tivesse mostrado empenho e disposição ao longo de todo o curso, seu baixo número de referentes, bem como seu não posicionamento de maneira efetiva como um intérprete da linguagem tratada, levaram-no a demonstrar dificuldades como esta:

[...] *dificuldade assim: quando é que eu vou utilizar energia cinética e quando é que eu vou usar a energia potencial.*

(Correção/resolução de problemas – mecânica Newtoniana).

Porém, em nossas considerações a respeito do processo de aprendizagem que buscamos compreender, não podemos deixar de lembrar que os termos envolvidos na linguagem física foram exibidos ao aluno A1 de maneira direta, por meio da resolução dos problemas, ou seja, em situações nas quais eles eram aplicados. A *ostensão* (Kuhn, 2000, p. 12) – foi executada pelo professor da disciplina durante as explicações decorrentes das dúvidas ocorridas enquanto as resoluções eram realizadas pelos alunos da turma, de modo geral, bem como pelos alunos mais fluentes nessa linguagem (em destaque A3, A4 e A5) quando em comparação com A1.

A aprendizagem da sintaxe da linguagem física tida por esse discente A1, segundo nossas compreensões, foi uma possível forma encontrada por ele para dar início ao tratamento da linguagem física, quando seu conhecimento possuía uma falta de *subsunções*, bem como dos *referentes* para os objetos e eventos físicos tratados, assim como um *vocabulário* básico um tanto quanto deficitário. Possivelmente, esses fatos impediram que A1 atingisse o aprendizado de leis e princípios físicos envolvidos nas resoluções propostas e desenvolvidas em sala de aula.

Sem pensar em generalizações, mas considerando que os estudos de caso podem estar relacionados a outras situações vivenciadas por esse mesmo sujeito em investigação e, também, por outros inúmeros em situações similares, podemos concluir que a aprendizagem deste estudante frente à linguagem física abordada no curso em questão, esteve diretamente relacionada ao aprendizado da lógica do raciocínio envolvida na busca da solução do problema tratado, bem como em relação à escrita dessa linguagem, que conta com subordinações constantes nas regras sintáticas algébricas existentes na solução dos problemas, o que podemos definir como a sintaxe da linguagem física.

A análise que fizemos a respeito da aprendizagem do aluno A1, no curso de *Introdução à Mecânica Clássica* proferido em uma universidade do Estado do Paraná, nos possibilita sugerir um posicionamento para os estudantes que buscam aprender e compreender os conteúdos expostos nas disciplinas de Física que são cursadas. Durante seus estudos – no qual, certamente, haverá problemas propostos pelo docente para serem resolvidos – os estudantes precisam encará-los (ou melhor, interpretá-los), buscando o sentido do processo descrito no enunciado da questão, se indagando a respeito das possíveis maneiras de solução, aplicando as leis estudadas que, via de regra, se resume às sentenças (funções) que envolvem diversos conceitos físicos representados por signos (símbolos). De modo geral, os problemas explorados no início da aprendizagem abordam situações exemplares – situações que apresentam um padrão em sua solução – e, resolvendo-as, o

aprendizado que o estudante tem será a respeito da “[...] linguagem de uma teoria [...]” que traz consigo “[...] o conhecimento da natureza embutido nessa linguagem [...]” (Kuhn, 2003, p. 209-210). Sob nosso ponto de vista, portando-se assim os estudantes estarão se inserindo na categoria de aprendizes da linguagem física (Kuhn, 2003, p. 42).

Como mencionado anteriormente, no próximo artigo – que está em fase de elaboração para submissão – trataremos da aprendizagem significativa de A3, formado em Física, que durante sua *aprendizagem significativa representacional* demonstrou características fundamentais em suas *representações internas*. Esse processo de análise que está em desenvolvimento, contribuirá com a ratificação do que temos neste momento em nossas considerações. Nele foi possível constatar que o processo de resolução de problemas constitui um estágio fundamental, portanto basal, para o aprendizado das linguagens científicas.

Sob nosso ponto de vista, o processo da resolução de problemas (tanto em Física, quanto em demais ciências: Química ou Biologia, por exemplo) faz com que a sintaxe da linguagem seja tratada por cada estudante, de maneira contínua (digamos). Isso estabelece entre os discentes a manipulação de signos contidos na linguagem abordada a todo instante, favorecendo uma possível *aprendizagem significativa representacional* dos signos em questão.

Uma importante ideia/percepção que merece destaque, no encerramento deste artigo, diz respeito às diferenças existentes entre os referenciais utilizados para o desenvolvimento desta investigação: para Thomas Kuhn existe o ensino de uma linguagem e a aprendizagem (que buscamos capturar) trata, de maneira específica, do significado contido nos signos (ou no conjunto que compõe as sentenças) dessa linguagem, ou seja, uma visão cognitivista do assunto; no âmbito da aprendizagem significativa, existem as associações, proposições e interações daquilo apreendido pelos estudantes. Ao mesmo tempo em que esses referenciais nos parecem contraditórios, eles se mostram complementares para o que consideramos nesta investigação. Todavia isso nos leva à seguinte projeção: parece existir a necessidade de desenvolvimento de um trabalho teórico que compatibilize Kuhn e Ausubel ou Kuhn e Moreira, por um viés cognitivista do assunto, o que pretendemos realizar em breve.

### **Agradecimentos**

À CAPES, ao CNPQ e à Fundação Araucária, pelo apoio financeiro.

### **Referências**

Airey, J.; Linder, C. (2009). A Disciplinary Discourse Perspective on University Science Learning: Achieving Fluency in a Critical Constellation of Modes. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 46, n. 1, p. 27-49.

Araujo, I. S.; Veit, E. A.; Moreira, M. A. (2007). Simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss para a eletricidade e da Lei de Ampère em nível de Física Geral. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 6, n. 3, p. 601-629, 2007.

Ausubel, D. P.; Novak, J. D.; Hanesian, H. (1980). *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.

Ballestero, H. C. E.; Arruda, S. M. (2010). Avaliação formativa em um curso introdutório de mecânica clássica: um estudo de caso. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 9, p. 168-185.

Gaspar, A.; Monteiro, I. C. C. (2005). Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 2, p. 227-254.

Kuhn, T. S. (2006). *A estrutura das revoluções científicas*. 9. ed. São Paulo: Perspectiva, 2006.

\_\_\_\_\_. (2003). *O caminho desde a estrutura*. São Paulo: Ed. da UNESP.

\_\_\_\_\_. (2000). On Learning Physics. *Science & Education* (Dordrecht), Amsterdam, v. 9, p. 11-19.

\_\_\_\_\_. (1977). *A tensão essencial*. Lisboa: Edições 70.

Lüdke, M.; André, M. E. D. A. (1986). *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU.

Matthews, M. (2004). Thomas Kuhn's Impact on Science Education: What Lessons Can Be Learned? *Science & Education* (Issues and Trends), v. 88, p. 90-118.

Moraes, R. (2003). Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211.

Moreira, M. A. (1997). Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente. Em Moreira, M. A.; Caballero, M. C.; Rodríguez, M. L. (Orgs.). *Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo*. Burgos, España. p. 19-44.

\_\_\_\_\_. (2011). *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.

Mualem, R.; Eylon, B. S. (2010). Junior High School Physics: Using a Qualitative Strategy for Successful Problem Solving. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 47, n. 9, p. 1094-1115.

Neves, M. S.; Caballero, C.; Moreira, M. A. (2006). Repensando o papel do trabalho experimental, na aprendizagem da Física, em sala de aula – um estudo exploratório. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 11, n. 3, p. 383-401.

Niaz, M.; Klassen, S.; Mcmillan, B.; Metz, D. (2010). Reconstruction of the History of the Photoelectric Effect and its Implications for General Physics Textbooks. *Science Education* (Wiley Online Library), p. 903-931.

Nielsen, W. S.; Nashon, S.; Anderson, D. (2009). Metacognitive, engagement during field-trip experiences: A case study of students in an amusement park physics program. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 46, n. 3, p. 265-288.

Passos, A. M.; Passos, M. M.; Arruda, S. M. (2010). O campo formação de professores: um estudo em artigos de revistas da área de Ensino de Ciências no Brasil. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.15, n.1, p. 219-255.

Rosa, C. W.; Alves Filho, J. P. (2009). A dimensão metacognitiva na aprendizagem em

física: relato das pesquisas brasileiras. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 8, n. 3.

Roth, W. M. (1994). Experimenting in a Constructivist High School Physics Laboratory. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 31, n. 2, p. 197-223.

Sherin, B. (2006). Common Sense Clarified: The Role of Intuitive Knowledge in Physics Problem Solving. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 43, n. 6, p. 535-555.

Sin, C. (2014). Epistemology, Sociology, and Learning and Teaching in Physics. *Science Education*, v. 98, n. 2, p. 342-365.

Stamovlasis, D.; Dimos, A.; Tsaparlis, G. (2006). A Study of Group Interaction Processes in Learning Lower Secondary Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 43, n. 6, p. 556-576.

Sousa, C. M. S. G.; Moreira, M. A.; Matheus, T. A. M. (2005). A resolução de situações-problema experimentais no campo conceitual do Eletromagnetismo: Uma tentativa de identificação de conhecimentos-em-ação. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 3, n. 1, p. 61-72.

Taconis, R.; Ferguson-Hessler, M. G. M.; Broekkamp, H. (2001). Teaching Science Problem Solving: An Overview of Experimental Work. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 38, n. 4, p. 442-468.

Villani, A.; Carvalho, L. O. (2005). Discursos do professor e subjetividade na aprendizagem de Física. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 3, p. 363-386.

Yerrick, R. K.; Doster, E.; Nugent, J. S.; Parke, H. M.; Crawley, F. E. (2003). Social Interaction and the Use of Analogy: An Analysis of Preservice Teachers' Talk during Physics Inquiry Lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 40, n. 5, p. 443-463.

**Recebido em:** 17.03.2015

**Aceito em:** 07.12.2015