

UMA APLICAÇÃO DA CONCEPÇÃO ADAPTATIVA DO LABORATÓRIO DIDÁTICO NO ENSINO DE FÍSICA

An application of the adaptive conception of the didactic laboratory in Physics teaching

Thiago Queiroz Costa [thiago.costa@ifpr.edu.br]
Instituto Federal do Paraná- Câmpus Ivaiporã
 Rodovia PR 466 S/N – Gleba Pindaúva – Ivaiporã/PR

Sergio de Mello Arruda [sergioarruda@uel.br]
Marinez Meneghello Passos [marinezmp@sercomtel.com.br]
Universidade Estadual de Londrina
 Rodovia Celso Garcia Cid - Pr 445 Km 380

Recebido em: 01/10/2019

Aceito em: 01/05/2020

Resumo

Neste artigo trazemos os resultados de uma investigação sobre a função do experimento no ensino de Física, no Ensino Médio, a partir da aplicação da concepção adaptativa de laboratório didático. Foram realizadas duas atividades experimentais em sala de aula: a primeira tratava da lei de Hooke e a segunda do movimento de um corpo com atrito. As atividades foram desenvolvidas em quatro etapas: realização prévia dos experimentos pelos monitores (estudantes do Ensino Médio); planejamento da aula experimental; execução do experimento em sala de aula; discussões pós-aula. Todas as etapas foram gravadas em vídeo, posteriormente, transcritas e interpretadas considerando os procedimentos analíticos indicados pela Análise Textual Discursiva. Os diálogos estabelecidos entre o professor e os monitores foram analisados com base em quatro funções principais do experimento no ensino de Física assumidas por categorias *a priori*: fenomenológica; ajuste de fatos; articulação da teoria; detecção e reconhecimento de anomalias, tendo sido o ajuste de fatos e a articulação da teoria no que diz respeito a medições, as categorias com maior incidência.

Palavras-chave: Concepção adaptativa do laboratório didático. Thomas Kuhn. Laboratório de Física.

Abstract

This paper presents the results of an investigation about the function of experiment in physics teaching, in high school, from the application of adaptive conception of the didactic laboratory. Two experimental classroom activities were performed: the first dealt with Hooke's law and the second with a movement of a body on a rough surface. The activities were divided into four steps: previous realization of the experiment by monitors (high school students), experimental class planning, experiment execution in classroom and post class discussion. All steps were record on video. Later the videos were transcribed and interpreted according the procedures of Discursive Textual Analysis. The dialogue established with the teacher and monitors were analyzed based on four main functions of experiment in physics teaching assumed by *a priori* categories: phenomenological; fact adjustment; articulation of theory; detection and recognition of anomalies. We observed that the categories with the highest incidence were fact adjustment and theory articulation.

Keywords: Adaptive conception of the didactic laboratory. Thomas Kuhn. Physics laboratory.

Introdução

Apesar dos inúmeros estudos a respeito do ensino de Física discutirem e defenderem a importância do uso de atividades experimentais como facilitadoras dos processos de ensino e de aprendizagem, acredita-se que cabe um questionamento inerente ao tema: para que serve mesmo o experimento no ensino de Física?

Em função desta indagação propusemo-nos a buscar esclarecimentos em relação a ela, e, para tal, utilizamos por inspiração o que nos apresentam Arruda, Silva & Laburú (2001), quando discorrem a respeito de uma proposta para o ensino de Física, denominada *concepção adaptativa do laboratório didático*, indicando que um experimento apresenta quatro funções básicas, que denominamos sinteticamente a seguir: fenomenológica; ajuste de fatos; articulação da teoria; detecção e reconhecimento de anomalias.

Nesta investigação que desenvolvemos, pudemos detalhar tal concepção adaptativa, a partir de resultados que emergiram mediante a análise dos diálogos entre um professor, monitores¹ e alunos², ambos do Ensino Médio, participantes dessa pesquisa.

Diante do exposto, podemos então considerar que buscamos evidenciar a presença das quatro funções experimentais, tomadas como categorias *a priori*, segundo uma interpretação dos diálogos entre o professor e seus alunos. Com relação às funções, assim como em Arruda, Silva & Laburú (2001), elas tiveram como inspiração as ideias de Thomas Kuhn, que pressupõem resumidamente o seguinte: a) a Física é constituída por paradigmas, que são estruturas gerais nas quais a parte teórica (teoria) vem junto com a parte experimental (os dados); b) o professor tem que ensinar as duas partes; c) para ensinar a parte teórica, ele expõe a teoria, e depois resolve os problemas; d) para ensinar a parte experimental, o professor precisa ter em mente que os dados não são independentes da teoria, mas parte dela, devendo demonstrar essa articulação entre a teoria e os dados.

Considerando esses fatos, compreendemos que a educação científica no nível básico pode ser considerada como uma analogia à preparação do cientista, como nos apresenta a teoria de Kuhn:

O estudo dos paradigmas (teorias) é o que prepara basicamente o estudante para ser membro da comunidade científica determinada na qual atuará mais tarde. Uma vez que ali o estudante reúne-se a homens que aprenderam as bases de seu campo de estudo a partir dos mesmos modelos concretos [...]. (KUHN, 2013, p.30)

Nesse sentido, o professor assumiria o papel do cientista mais experiente e, os alunos, o papel dos cientistas em formação. Assumindo essa analogia e equivalência de papéis, passamos a estruturar e desenvolver nossa investigação. Para tal, valemo-nos de gravações dos diálogos – entre um professor e onze monitores; dos monitores entre si; dos monitores e com os alunos – durante a realização de duas atividades experimentais (lei de Hooke; movimento retilíneo uniforme) propostas pelo professor em um trimestre letivo.

A fim de organizar e analisar os dados, foram empregados os procedimentos da Análise Textual Discursiva (ATD) (MORAES, 2003). Cada uma das funções da experimentação foi assumida por categoria de análise e sua identificação deu-se por meio de frases, expressões e palavras presentes nos diálogos entre os sujeitos da pesquisa. No caso deste artigo, trazemos especificamente excertos

¹ Monitores: grupo composto por onze alunos que foram convidados pelo professor para realizar as atividades experimentais previamente. Eles são os sujeitos focados na elaboração deste artigo.

² Alunos: são aqueles que não realizaram as atividades experimentais previamente e foram auxiliados pelos monitores em sala de aula.

dos relatos do professor e dos onze monitores. As falas dos demais alunos da sala de aula investigada não foram consideradas.

Na sequência apresentamos alguns esclarecimentos a respeito do papel do experimento no desenvolvimento da Ciência, pautado nas considerações de Thomas Kuhn. Posteriormente, indicamos destaques sobre a concepção adaptativa do laboratório didático, tendo por norte o que nos apresentam Arruda, Silva & Laburú (2001). Na continuidade detalhamos o contexto da pesquisa e os procedimentos metodológicos, seguidos da apresentação, da discussão dos dados e dos resultados que pudemos evidenciar. Por fim, nas considerações finais inserimos o que foi possível concluir com relação à presença das funções do experimento no ensino básico de Física, a partir de ideias inspiradas em um referencial kuhniano, com esses sujeitos investigados na situação proposta.

O papel do experimento

Quando refletimos sobre o que representa o experimento para o desenvolvimento da Ciência, é possível observar a presença da atividade experimental na teoria kuhniana tanto durante o estágio da ciência normal, quanto nos momentos de crise, totalizando quatro as funções do experimento.

Dentro do funcionamento da ciência normal, Arruda, Silva & Laburú (2001) e Kuhn (2011a; 2011b) mencionam três funções dos experimentos:

- (i) A determinação de fatos que vão conduzir a um aumento na acuidade e extensão do conhecimento experimental, envolvendo inclusive a construção de equipamentos especiais;
- (ii) A produção de fatos que podem ser comparados diretamente com o paradigma, visando estabelecer acordos, cada vez melhores, entre a natureza e a teoria;
- (iii) A articulação da teoria envolve, dentre outras atividades, a determinação de constantes Físicas e a descoberta de leis empíricas.

Exemplos dessa primeira função encontram-se na Física das partículas elementares com a construção do grande colisor de hádrons (LHC) em um consórcio internacional, que tem por finalidade expandir a acuidade experimental e que confirmou provisoriamente em 2013 a existência do bóson de Higgs, partícula fundamental prevista pelo modelo padrão, teoria que explica os fenômenos desta área de estudo. Outro exemplar atual, no mesmo modelo de consórcios internacionais, é a construção e a manutenção de telescópios e radiotelescópios para a exploração de fenômenos cosmológicos dentro da teoria aceita para a evolução do Universo.

Com relação à segunda função, como exposto em Arruda, Silva & Laburú (2001, p.101) “[...] usualmente, a produção de comparações desse tipo é difícil de ser realizada e em muitos dos casos em que ela foi possível, os investigadores tiveram que fazer uso de diversas aproximações”, o que Kuhn (2011b, p.309) chama de “concordância razoável”. Um exemplo desse fato está relatado no trecho a seguir:

[...] Quando a teoria de Newton foi enunciada no fim do século XVII, apenas sua terceira lei (a igualdade entre ação e reação) podia ser diretamente investigada por experimentação, e os experimentos relevantes aplicavam-se somente a casos muito específicos. As primeiras demonstrações diretas e inequívocas da segunda lei tiveram de aguardar o desenvolvimento da máquina de Atwood, uma peça do aparato laboratorial sutilmente concebida, inventada quase um século depois do aparecimento dos Principia. (KUHN, 2011a, p.306)

Esses trechos revelam que os experimentos não são em si fundamentais para comprovação ou refutação teórica, possuindo, contudo, importância fundamental no desenvolvimento científico.

Todavia, mesmo antes do início das chamadas Ciências baconianas, Kuhn (2011b, p.61) reafirma que as Ciências clássicas “[...] sejam empíricas e não apriorísticas, seu desenvolvimento na antiguidade não precisou de muitas observações refinadas ou, menos ainda, de experimentação”.

Mesmo frente à discussão da questão de como é necessário primeiramente a teoria antes da necessidade confirmativa experimental, Kuhn (2011a) menciona que alguns exemplos de descoberta de regularidades foram obtidos a partir da medição, exemplificando assim a terceira função no âmbito da “ciência normal”. Entre elas estão a lei de Boyle, que relaciona a pressão de um gás com seu volume; a lei de Hooke, que trata da relação entre a deformação da mola com a força aplicada; o efeito Joule, que estabelece a relação entre o calor gerado com a corrente elétrica e a resistência elétrica em um resistor. Como afirma Kuhn, tais eventos, entretanto, são raros.

Porque são tão excepcionais, em parte porque nunca ocorrem até que o cientista experimental já conheça tudo, salvo a forma específica do resultado quantitativo que pretende obter, essas exceções mostram apenas quão improváveis são as descobertas quantitativas pelas medições quantitativas. (KUHN, 2011a, p.314)

No âmbito da ciência normal, as funções experimentais são as seguintes: “[...] determinação do fato significativo, harmonização dos fatos com a teoria e articulação da teoria – esgotam, creio, a literatura da ciência normal, tanto teórica como empírica” (KUHN, 2011b, p.55). O que fica evidente é que as palavras-chave dentro da ciência normal na relação entre teoria e fatos empíricos são ‘articulação’ e ‘ajuste’.

Na fase da revolução científica estaria presente a quarta função do experimento, de maneira que cabe aos fatos provocar o reconhecimento de anomalias, levando a novos modelos experimentais para sua explicação (ARRUDA; SILVA; LABURU, 2001).

Para que isso aconteça é necessário assumir que as anomalias precisam ser reconhecidas como tal e não apenas como alguma falha específica no aparato experimental ou experimentador, mas que realmente tal fato está em desacordo com as categorias e procedimentos paradigmáticos vigentes na comunidade científica. Um exemplo histórico notável foram os experimentos que geraram discussões e trabalhos que deram início ao desenvolvimento da chamada Física Quântica. Isso ocorreu exatamente em um contexto histórico, no qual os físicos acreditavam que a Física havia atingido um grau de perfeição como ciência, uma vez que, como menciona Wolney Filho (2003, p.19):

A teoria eletromagnética de Maxwell descrevia com perfeição os fenômenos elétricos e magnéticos. O desenvolvimento alcançado na termodinâmica e mecânica estatística através de trabalhos realizados por Joule, Carnot, Gibbs, Maxwell e Boltzmann, somados aos elegantes e sofisticados tratamentos matemáticos apresentados por Lagrange e Hamilton para o desenvolvimento da mecânica newtoniana, constituíam os fundamentos de uma teoria que hoje é conhecida como *teoria clássica da Física*. (grifo do autor)

No sentido de completude, como muitos mencionavam “apenas duas nuvens pairavam sobre a Física”, ou seja, acreditava-se que havia apenas dois problemas em aberto para resolução. Uma das “nuvens” tratava da falta de explicação correta dos resultados experimentais obtidos para o espectro de distribuição de radiação do corpo negro, que para Wolney Filho “[...] é aquele capaz de absorver toda a radiação que sobre ele incide” (p.31) e para Reynaud “[...] é uma cavidade fechada idealizada” (2007, p.7), sendo que: o mais próximo exemplar real são os fornos.

A então teoria clássica não conseguiu formular uma solução teórica que respondesse completamente aos resultados experimentais observados, conseguindo duas aproximações nos limites extremos com as leis de Wien e de Rayleigh-Jeans. Porém, somente com os trabalhos de Max Planck foi possível reproduzir teoricamente os dados experimentais, no qual, segundo exposto em Reynaud (2007, p.7):

Nos termos atuais, e não nos de Planck, um número inteiro de quanta está associado a qualquer modo do campo eletromagnético – um modo é uma solução estacionária das equações de Maxwell. A lei de Planck considera que a média dessa solução é função da temperatura e da frequência.

O ponto-chave nesta situação exposta é o fato de o experimento ter funcionado para destacar e fazer emergir uma anomalia no contexto científico da época, sendo necessário, como destacado nas citações anteriores, um novo olhar teórico para o entendimento do fenômeno em questão, em um momento do nascimento de uma teoria quântica e, futuramente, de uma dualidade no entendimento da natureza da luz.

Proposta de concepção adaptativa do laboratório didático

Em termos de implicações didáticas da visão kuhniana sobre a relação experimento/teoria, Arruda, Silva & Laburú (2001, p.105) propõem uma concepção adaptativa do laboratório didático na qual consideram o aprendizado científico como aquisição de um vocabulário ou de uma linguagem por meio da exposição do estudante às situações experimentais e suas soluções. Nesse sentido, tal concepção de laboratório entende que as atividades que serão desenvolvidas constituem um esforço em dar unidade ao discurso teórico experimental.

Então, em analogia ao que Kuhn designa ser a função do experimento no desenvolvimento da Ciência, Arruda, Silva & Laburú (2001, p.105-106) apresentam quatro funções do experimento no laboratório didático, sendo as três primeiras as seguintes:

- (i) A exploração da parte fenomenológica³ do paradigma, o que poderia envolver a construção de equipamentos;
- (ii) A produção de fatos que se ajustem com precisão a determinadas consequências do paradigma;
- (iii) A articulação da teoria através da determinação de constantes Físicas características, a descoberta de leis empíricas e medições em geral. (grifos nossos)

Essas três funções, em analogia ao exposto para o desenvolvimento da Ciência, estariam relacionadas à prática normal do professor de Física, sendo este o responsável pela produção de fatos experimentais que se ajustem aos paradigmas das teorias ensinadas. Cabe também ao docente propor discussões dos fenômenos físicos, especialmente sobre a relação entre as grandezas físicas manipuladas pelos estudantes ao longo de uma atividade experimental.

A quarta função do experimento na concepção adaptativa de laboratório didático, seria:

- (iv) Resolução de uma anomalia, ou seja, de uma situação em que os conhecimentos prévios do estudante não estão funcionando, o que exigiria a construção de novos óculos teóricos para permitir enxergar o experimento de outra maneira. (ARRUDA; SILVA; LABURÚ, 2001, p.106, grifos nossos)

³ Essas palavras grifadas inspiraram a elaboração dos nomes dados às categorias estabelecidas *a priori*.

Essa quarta função pode servir como mola propulsora da aprendizagem científica por parte dos estudantes, especificamente, nos momentos em que eles se deparam com situações que fogem ao seu conhecimento atual.

Nesse contexto, as anomalias apresentadas aos estudantes dentro da aplicação de uma concepção adaptativa do laboratório didático podem auxiliar o processo dialógico entre professor e aluno no sentido da apropriação de conceitos e, mais importante, no aprendizado de uma linguagem científica integrada a partir do ajuste teórico e experimental.

Arruda, Silva & Laburú (2001) propõem tal visão de laboratório didático, uma vez que observam, a partir de trabalhos científicos da área, que o que está em jogo é a aprendizagem de uma linguagem científica, com suas especificidades dentro de um ajuste teórico/experimental, em contraponto a uma visão comumente empregada das atividades experimentais como comprovação de fórmulas matemáticas, previamente, abordadas em aula.

Diante do exposto, tendo como foco a busca pela identificação dessas funções experimentais, tal concepção adaptativa foi aplicada a atividades experimentais de Física no Ensino Médio.

O contexto da pesquisa e os procedimentos metodológicos

Segundo o que nos indicam Bogdan & Biklen (1994), para uma pesquisa qualitativa de cunho interpretativo pode-se elencar cinco características: a fonte de dados é o ambiente natural, sendo o investigador o principal instrumento; a investigação é descritiva; o interesse da pesquisa se dá mais em torno do processo do que apenas dos resultados e/ou produtos; a análise dos dados segue uma tendência indutiva; o significado é de importância vital.

A partir de tais caracterizações sobre a pesquisa qualitativa, é possível enquadrar o que desenvolvemos dentro de tais aspectos, pois como já mencionado, tais questionamentos presentes nesta investigação emergiram de um processo de busca de conexões entre referenciais teóricos relacionados a processos de ensino e aprendizagem em Ciências, mais especificamente a Física.

Outro elemento a destacar é justamente que o campo de nossa preocupação foi o ambiente natural, esse, representado pelo meio escolar no qual as interações entre os sujeitos de pesquisa foram estabelecidas pelo pesquisador atuando como um “observador participante”, da forma como estabelecem Lüdke & André, (2001, p.27):

O “observador como participante” é um papel em que a identidade do pesquisador e os objetivos do estudo são revelados ao grupo pesquisado desde o início. Nessa posição, o pesquisador pode ter acesso a uma gama variada de informações, até mesmo confidenciais, pedindo cooperação ao grupo. Contudo, terá em geral que aceitar o controle do grupo sobre o que será ou não tornado público pela pesquisa. (grifo das autoras)

Ao nos declinarmos sobre tal apontamento, podemos afirmar que foi justamente isso que ocorreu, pois o pesquisador envolvido no levantamento dos dados dos sujeitos era justamente o professor regente dos monitores e dos demais alunos envolvidos no processo e desde o início apresentou a eles os objetivos inerentes às gravações de suas interações⁴.

De acordo com Flick (2009), a pesquisa qualitativa tem como aspectos essenciais a escolha adequada de métodos e teorias convenientes, no reconhecimento e na análise de diferentes

⁴ A pesquisa aqui exposta foi aprovada pelo Comitê de Ética e possui os seguintes registros – CAAE: 57663716.9.0000.5231; Parecer: 1.666.360.

perspectivas; nas reflexões dos pesquisadores a respeito de suas pesquisas como parte do processo de produção do conhecimento, acrescentando que:

A pesquisa qualitativa não se baseia em um conceito teórico e metodológico unificado. Diversas abordagens teóricas e seus métodos caracterizam as discussões e a prática da pesquisa. Os pontos de vista subjetivos constituem um primeiro ponto de partida. Uma segunda corrente de pesquisa estuda a elaboração e o curso das interações, enquanto uma terceira busca reconstruir as estruturas do campo social e o significado latente das práticas (FLICK, 2009, p.08).

Os dados, para a identificação das funções do experimento (mencionados na seção anterior), foram coletados durante um trimestre, no ano de 2017, por meio da aplicação de dois experimentos: um conjunto sobre a lei de Hooke e o outro a respeito do movimento retilíneo uniforme (MRU) e suas causas; No primeiro, o aparato foi construído com espirais de caderno (molas), massas aferidas, régua plástica e metálicas e um suporte (figura 1).

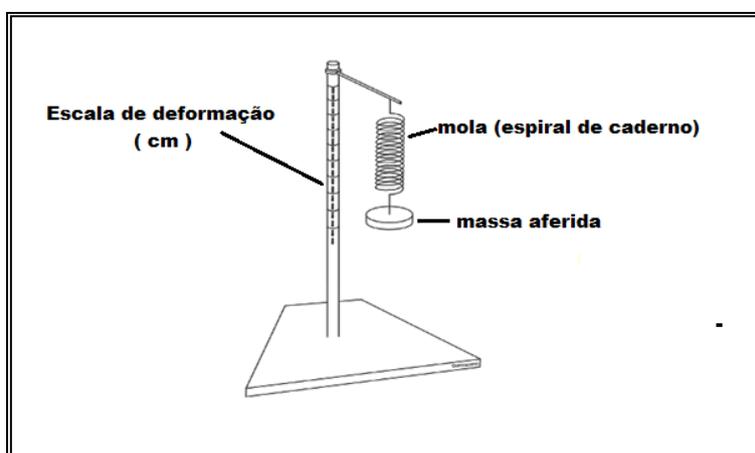


Figura 1 - Esquema experimental para estudo da Lei de Hooke
Fonte: o próprio autor

O procedimento consistia então em adicionar as massas aferidas a mola e medir a elongação da mesma com auxílio das régua. Os dados foram coletados pelos alunos, organizados em tabela e gráfico. Em seguida, após as discussões entre os envolvidos, foi obtida a constante elástica das molas empregadas na atividade.

No segundo experimento, o aparato empregado era formado por uma barra rosqueável ou vareta com rosca, com diâmetro de 3/4" aferida com o auxílio de um metro, uma arruela com diâmetro interno aproximadamente igual ao da barra e cronômetro digital (figura 2).

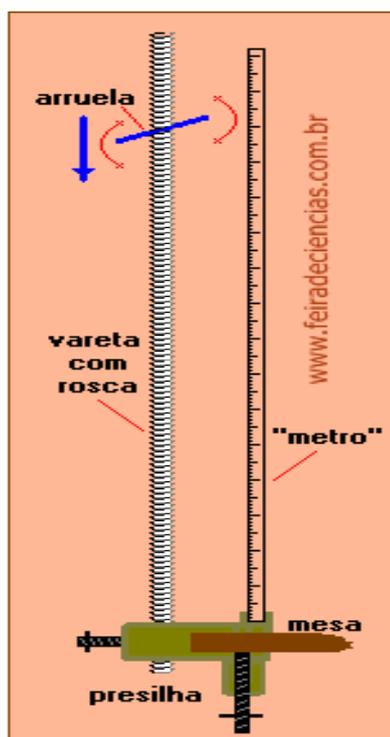


Figura 2 - Esquema experimental para estudo do MRU e suas causas

Fonte: www.feiradeciencias.com.br – acessado em 2017

A realização dessa atividade experimental consistia em liberar a arruela no topo da vareta (figura 2) e medir os intervalos de tempo para que esta percorresse distâncias iguais pela barra. Com tais dados o objetivo era calcular a velocidade desta arruela e caracterizar tal movimento como retilíneo e uniforme (MRU), discutindo também as causas de tal fenômeno.

Deste modo, as informações analisadas foram transcrições de todas as falas, capturadas por meio de gravação em vídeo, das situações vividas pelo professor, monitores e alunos ao longo das atividades.

O estudo dessas manifestações foi realizado considerando os procedimentos da Análise Textual Discursiva (ATD) em que a escolha dessa modalidade se deu pela sua capacidade característica em produzir novas compreensões (metatexto) em um processo auto-organizado durante a imersão no fenômeno analisado, buscando assim se aproximar dos discursos por meio de um conjunto de documentos textuais, tais como as transcrições dos diálogos dos sujeitos desta pesquisa (MORAES; GALIAZZI, 2011).

Para Moraes (2003), essa forma de análise estrutura-se segundo quatro focos, sendo os três primeiros destacados como principais:

1. *Desmontagem dos textos*: também denominado de processo de *unitarização*, implica examinar os materiais em seus detalhes, fragmentando-os no sentido de atingir unidades constituintes, enunciados referentes aos fenômenos estudados.
2. *Estabelecimento de relações*: processo denominado de categorização, implicando construir relações entre as unidades de base, combinando-as e classificando-as no sentido de compreender como esses elementos unitários podem ser reunidos na formação de conjuntos mais complexos, as categorias.
3. *Captando o novo emergente*: a intensa impregnação nos materiais de análise [...] possibilita a emergência de uma compreensão renovada do todo. O investimento na comunicação dessa nova compreensão, assim como de sua crítica e validação constituem o último elemento do ciclo de análise proposto [...].

4. *Um processo auto-organizado*: o ciclo de análise descrito, ainda que composto de elementos racionalizados em certa medida planejados, em seu todo constitui um processo auto-organizado do qual emergem novas compreensões. Os resultados finais, criativos e originais, não podem ser previstos. Mesmo assim é essencial o esforço de preparação e impregnação para que a emergência do novo possa concretizar-se. (MORAES, 2003, p.191-193, grifos nossos)

Considerando o exposto realizamos os seguintes procedimentos: transcrição das gravações dos diálogos em todos os momentos de interação; organização das gravações dos dois experimentos selecionados em quatro momentos (execução prévia pelos monitores; planejamento da aula; execução da aula; discussão pós-aula); fragmentação dos diálogos; atribuição de codificação aos trechos fragmentados; categorização dos dados segundo as quatro funções do experimento, inspiradas por Arruda, Silva & Laburú (2001); identificação de frases, expressões e/ou palavras que nos remetessem às funções do experimento; estabelecimento de relações e elaboração de subcategorias derivadas daquelas quatro funções que foram assumidas como categorias estabelecidas *a priori*; reanálise dos dados a partir das evidências emergentes (novas) e constituição dos critérios referentes às acomodações em cada uma das categorias de análise; representação quantitativa do que foi acomodado nas categorias.

Na sequência descrevemos de forma resumida e com exemplos os procedimentos organizacionais e interpretativos elencados no parágrafo anterior, a fim de elucidar esta elaboração e os resultados conclusivos.

Apresentação e análise dos dados

Para análise dos diálogos, inicialmente foi empregada a concepção adaptativa do laboratório didático indicada por Arruda, Silva & Laburú (2001), que destaca quatro funções da experimentação no ensino de Física. Tomamos tais funções como categorias *a priori* para analisar os diálogos entre os sujeitos participantes da pesquisa. Contudo, ao longo do processo dessa abordagem qualitativa, sobretudo durante um processo analítico que considerou mais detalhes dos dados coletados das gravações e transcrições, foi possível “fragmentar” ou, ainda, descrever as funções e elaborar subcategorias de análise, conforme exposto no Quadro 1.

Cabe lembrar neste momento, que partimos de um movimento analítico considerando quatro categorias *a priori* e chegamos a subcategorias emergentes, fato esse que surgiu durante o processo interpretativo do *corpus*⁵ investigativo.

No Quadro 1 temos na primeira coluna as funções do experimento, segundo os autores que inspiraram o desenvolvimento desta pesquisa. Na segunda coluna, descrevemos as quatro categorias assumidas *a priori* (C1, C2, C3 e C4) e as subcategorias emergentes (C1.1, C1.2; C3.1, C3.2, C3.3) de duas dessas categorias (C1 e C3). Optamos por essa apresentação em função do que trazemos na continuidade, que são alguns esclarecimentos e exemplos relativos a cada uma das categorias, o que facilita, a nosso ver, a compreensão das acomodações categoriais.

Quadro 1 – Funções do experimento, categorias e subcategorias de análise

Funções do experimento segundo Arruda, Silva & Laburú (2001, p.105-106)	Categorias <i>a priori</i> e subcategorias emergentes	
	Categorias	Subcategorias
	C1. Fenomenológica	C1.1 Conceitos

⁵ “[...] o conjunto dos documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos” (BARDIN, 2011, p.126).

A exploração da parte <u>fenomenológica</u> do paradigma, o que poderia envolver a construção de equipamentos.		C1.2 Aparatos
A produção de <u>fatos</u> que se <u>ajustem</u> com precisão a determinadas consequências do paradigma.	C2. Ajuste de fatos	
A <u>articulação da teoria</u> através da determinação de constantes físicas características, a descoberta de leis empíricas e medições em geral.	C3. Articulação da teoria	C3.1 Constantes físicas
		C3.2 Leis empíricas
		C3.3 Medições
Resolução de uma <u>anomalia</u> , ou seja, de uma situação em que os conhecimentos prévios do estudante não estão funcionando, o que exigiria a construção de novos óculos teóricos para permitir <u>enxergar</u> o experimento de outra maneira.	C4. Detecção e reconhecimento de anomalias	

Fonte: os autores

A categoria C1 – Fenomenológica – está relacionada com a discussão sobre os fenômenos e os conceitos físicos (codificada e denominada por C1.1 Conceitos) envolvidos nas atividades experimentais e também especificamente a aspectos construtivos (C1.2 Aparatos) dos aparatos utilizados nos encontros, relacionadas à primeira função do experimento indicada por Arruda, Silva & Laburú (2001), como pode ser observado no Quadro 1.

A categoria C2 – Ajuste de fatos – foi considerada em nossas análises todas as vezes em que se percebia uma tentativa do professor e, posteriormente, dos monitores ajustarem os dados experimentais coletados de forma a apresentarem concordância com o que era previsto pela teoria relacionada. Como pode ser constatado no Quadro 1, para esta categoria não emergiram subcategorias.

A categoria C3 – Articulação da teoria – acomoda as discussões relativas à determinação e ao entendimento de características das Constantes físicas (C3.1); em momentos que envolviam discussões sobre algumas Leis empíricas (C3.2)⁶, principalmente com a observação de proporcionalidade entre grandezas físicas relacionadas e, também, tiveram momentos em que as falas focavam unicamente as Medições (C3.3), sobretudo a manipulação e o tratamento de dados coletados experimentalmente.

Por fim, a categoria C4 – Detecção e reconhecimento de anomalias – diz respeito a todas as vezes em que um fato experimental parecia contradizer, de alguma forma, os conhecimentos prévios dos alunos ou monitores, gerando questionamentos relativos a essas crenças, ressaltando que não foi possível afirmar que tais concepções prévias foram substituídas pelos conceitos científicos (como se pretendia no modelo de mudança conceitual da década de oitenta), apenas evidenciamos frutíferas discussões sobre conceitos/fenômenos motivadas pelas indagações dos monitores frente às aparentes inconsistências levantadas.

Tendo exposto esses esclarecimentos relativos aos critérios que nos levaram a acomodar os relatos em cada uma das quatro categorias e suas subcategorias (quando evidenciadas), trazemos na sequência alguns exemplos de diálogos (retirados das transcrições), a fim de exemplificar o que foi apresentado anteriormente. Com a intenção de manter o anonimato dos participantes, procedemos de modo a codificar os monitores, os diferenciando por monitor ou monitora e uma letra maiúscula diferente para cada um deles, relacionada com o nome dos envolvidos.

⁶ Aqui cabe ressaltar que os monitores e alunos só perceberam as regularidades, pois essas já haviam sido mencionadas anteriormente pelo professor, pois como apontam Arruda, Silva & Laburú (2001), atividades experimentais, com a observação de regularidades ou de relações entre variáveis, podem representar um problema fora do alcance dos estudantes.

O diálogo que segue refere-se a um momento de execução por parte dos monitores da primeira atividade experimental realizada, cujo objetivo era o estudo experimental sobre a lei de Hooke.

Monitor L: Isso não faz sentido nenhum! [Comentando sobre os valores experimentais obtidos]⁷.

Monitor L: O nosso está tudo errado.

Professor: O que não faz sentido monitor L?

Monitor L: Olha o espaço desse aqui [apontando a deformação], desse aqui, desse aqui, não está uniforme [considerando a relação entre peso e deformação]. Eu estou vendo dos outros grupos que está dando uniforme, o nosso está errado! Tem que dar uniforme as distâncias!

Neste diálogo selecionado temos alguns argumentos do monitor L relativos à observação dos dados experimentais obtidos para as grandezas peso e deformação, quando percebe que os valores de seu grupo não estão próximos dos valores obtidos por outros grupos de monitores. Segundo nossas interpretações, podem-se destacar: a categoria C2 (Ajuste de fatos), quando L observa que para os demais grupos os valores estavam mais próximos do que era previsto pela teoria apresentada pelo professor; a subcategoria C3.2 (Leis Empíricas) relacionada a C3 (Articulação da teoria), pois, também pela indicação prévia do docente, os monitores esperavam encontrar uma relação de proporcionalidade entre as grandezas físicas destacadas na atividade; C3.3 (Medições) quando relata sobre as maneiras adequadas de obtenção e tratamento de dados experimentais e C4 (Detecção e reconhecimento de anomalias) no sentido de observar algo em desacordo com a previsão teórica que provocou questionamento.

No próximo diálogo, relativo ao segundo experimento, que foi proposto com o objetivo de obter valores aproximadamente constantes para a velocidade de uma arruela em movimento vertical por um parafuso em barra (figura 2) de acordo com o MRU, pode-se destacar diversas funções do experimento, representadas por nossas categorias e subcategorias, como descrevemos nos parágrafos posteriores ao fragmento.

Monitor A: É impressão minha ou tudo está dando o mesmo tempo?

Monitora L: Acho que é para dar isso mesmo.

Professor: Isso, vocês perceberam que para os deslocamentos iguais, os tempos experimentais são praticamente os mesmos?

Monitor A: Sim, estranho!

Monitor A: Por quê?

Monitora L: É que daí a velocidade deve ser a mesma.

Professor: Exato.

Monitor A: Achei que deveria aumentar [referindo-se à velocidade].

Segundo nossas interpretações temos a evidenciação de C4, quando algo inesperado motiva o monitor A a questionar L, que estava mais atento às discussões de velocidade constante e suas causas no experimento (C1 e C3), sustentado pela aprovação do professor (C2).

Como se pode perceber, a C4 (Detecção e reconhecimento de anomalias) justifica-se, pois o monitor A acreditava em um aumento da velocidade do corpo ao longo do seu movimento, de modo que o experimento contrariou tal expectativa, indicando novamente que tal função provocou questionamentos e discussões fenomenológicas. Fato relacionado às medições experimentais realizadas por ele e que diz respeito à categoria C3 com destaque para C3.3 (Medições). Tal obtenção de dados experimentais deveria estar de acordo com o exposto anteriormente e reforçado na fala do professor sobre deslocamentos e intervalos de tempo, de modo que temos aí C2 (Ajuste de fatos), pois o experimento deveria se ajustar ao que a teoria previa.

⁷ Os textos entre colchetes foram inseridos por nós para dar sentido ao relato e contextualizar a situação em análise.

Trouxemos neste artigo somente dois exemplos de como os relatos foram categorizados, procurando elucidar os critérios assumidos para tal. Na continuidade apresentamos, no Quadro 2, a quantidade de excertos organizada nos quatro momentos (ver coluna 1); nas quatro categorias e subcategorias para cada um dos momentos (ver colunas 2 e 3); a frequência de ocorrência dos relatos para essas categorias e subcategorias para o experimento 1 (ver coluna 4); a frequência de ocorrência dos relatos para o experimento 2 (ver coluna 5).

Quadro 2 – Descrição organizada dos dados coletados e interpretados

			Experimento 1	Experimento 2
Momentos investigados	Categorias	Subcategorias	Frequência	Frequência
Realização prévia do experimento pelos monitores	C1. Fenomenológica	C1.1 Conceitos	05	09
		C1.2 Aparatos	02	Nenhuma
	C2. Ajuste de fatos		07	10
	C3. Articulação da teoria	C3.1 Constantes físicas	Nenhuma	06
		C3.2 Leis empíricas	03	Nenhuma
		C3.3 Medições	13	10
C4. Detecção e reconhecimento de anomalias		03	04	
Planejamento da aula experimental	C1. Fenomenológica	C1.1 Conceitos	02	Nenhuma
		C1.2 Aparatos	Nenhuma	01
	C2. Ajuste de fatos		04	04
	C3. Articulação da teoria	C3.1 Constantes físicas	04	Nenhuma
		C3.2 Leis empíricas	01	Nenhuma
		C3.3 Medições	05	05
C4. Detecção e reconhecimento de anomalias		01	Nenhuma	
Execução do experimento em sala de aula	C1. Fenomenológica	C1.1 Conceitos	01	01
		C1.2 Aparatos	Nenhuma	01
	C2. Ajuste de fatos		07	07
	C3. Articulação da teoria	C3.1 Constantes físicas	02	01
		C3.2 Leis empíricas	Nenhuma	Nenhuma
		C3.3 Medições	05	08
C4. Detecção e reconhecimento de anomalias		Nenhuma	01	
Discussão pós-aula	C1. Fenomenológica	C1.1 Conceitos	01	Nenhuma
		C1.2 Aparatos	01	03
	C2. Ajuste de fatos		02	02
	C3. Articulação da teoria	C3.1 Constantes físicas	01	02
		C3.2 Leis empíricas	01	Nenhuma
		C3.3 Medições	04	04
C4. Detecção e reconhecimento de anomalias		Nenhuma	Nenhuma	

Fonte: os autores

Com a intenção de elaborar nossas compreensões a respeito do que essa visão panorâmica do que ocorreu durante a realização das atividades em investigação que o Quadro 2 nos proporciona, passamos a observar momento a momento a evolução da presença das quatro categorias (relativas às funções do experimento) para os dois experimentos conjuntamente. Para tal elaboramos alguns gráficos que representam cada momento da proposta que foi desenvolvida.

No Gráfico 1, temos a representação do momento 1, aquele em que ocorreu a realização prévia dos dois experimentos pelos monitores e a distribuição, segundo as categorias e suas subcategorias (quando existirem). Esclarecemos que para as categorias que possuem subcategorias, utilizamos as denominações das subcategorias de forma compacta e para as categorias que não possuem subcategorias, trouxemos o nome da própria categoria, também de maneira representativa, ou seja, C.1.1 – Conceitos; C.1.2 – Aparatos; C.2 – Ajustes; C3.1 – Constantes; C.3.2 – Leis; C3.3 – Medições; C.4 – Anomalias.

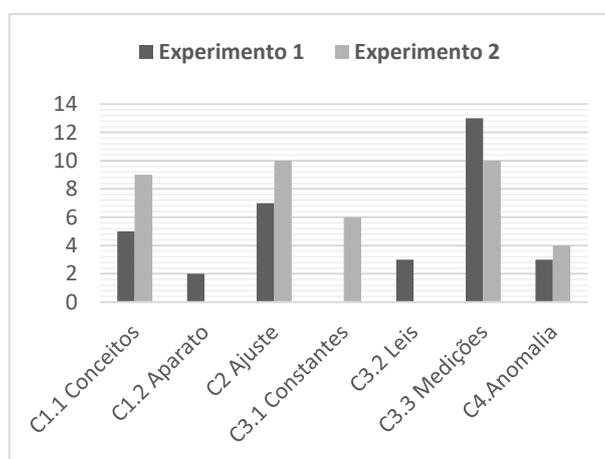


Gráfico 1 – Frequência dos relatos no momento da realização prévia dos experimentos

Fonte: os autores

Durante a fase de realização prévia foi possível observar a presença de praticamente todas as categorias de análise em ambos os experimentos propostos, com diferentes proporções, devido à especificidade de cada um destes.

A presença da categoria C1, sobretudo a C.1.1, relativas aos conceitos físicos, foi maior no experimento 2, pois houve uma preocupação em se discutir as causas do movimento da arruela pelo parafuso em barra. Em ambos os experimentos há a presença significativa da categoria C2 (Ajuste de fatos), pois o professor procurou ajustar a obtenção dos dados de forma condizente com a teoria em estudo. Houve ainda uma quantidade destacável de discussões sobre as constantes físicas no segundo experimento em contraste com o primeiro, no qual os diálogos tinham como foco principal a manipulação do aparato experimental, subcategoria C1.2.

Mediante indicação do professor, durante a realização do experimento sobre a lei de Hooke, alguns monitores relataram uma possível observação de proporcionalidade entre as grandezas físicas, revelando a presença da subcategoria C3.2 (Leis empíricas). Destaca-se ainda ao longo da realização prévia para os dois experimentos, a presença de discussões envolvendo maneiras corretas de coleta dos dados experimentais (C3.3 Medições). Por sua vez, C4 foi observada, sobretudo, no experimento 2, devido à aparente necessidade de uma aceleração no movimento da arruela, levantada por alguns monitores, ressaltando novamente que tais momentos se caracterizaram por questionamentos dos sujeitos que provocaram discussões sobre a Física.

Da mesma forma que propusemos para o momento 1 da realização dos experimentos, trazemos organizado graficamente o que ocorreu no momento 2 – Planejamento da aula experimental.

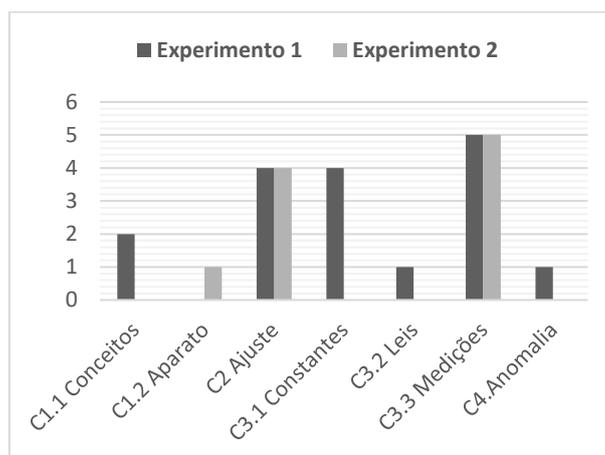


Gráfico 2 – Frequência dos relatos no momento do planejamento da aula experimental

Fonte: os autores

Nos encontros realizados com os monitores para planejamento das aulas experimentais, a distribuição das frequências das funções sofreu modificações marcantes entre os dois experimentos propostos, como pode ser observado no Gráfico 2.

Enquanto no encontro em que se discutia a lei de Hooke destacou-se a subcategoria C3.1 (Constantes físicas), no outro, os diálogos traziam, em sua maioria, reflexões a respeito dos procedimentos experimentais corretos (C.2 e C.3). Isso ocorreu devido ao experimento da lei de Hooke ser, para muitos monitores, o primeiro contato com uma atividade experimental quantitativa ao longo de seu processo formativo escolar.

Tal fato trouxe muitos questionamentos por parte dos monitores, e, além disso, havia o objetivo almejado pelo professor quanto ao desenvolvimento de atividade experimental, que deflagrou reflexões e comentários relacionados a cada uma das montagens experimentais, ou seja, principalmente o professor buscava, ao longo de ambos, promover o C.2 – Ajuste de fatos experimentais relativos à teoria da Mecânica envolvida nas interações.

Destaca-se novamente a presença da C.3, principalmente quanto à subcategoria C3.3 (Medições) em ambos os experimentos praticados, sobretudo quanto às formas de obtenção e manipulação correta dos dados experimentais.

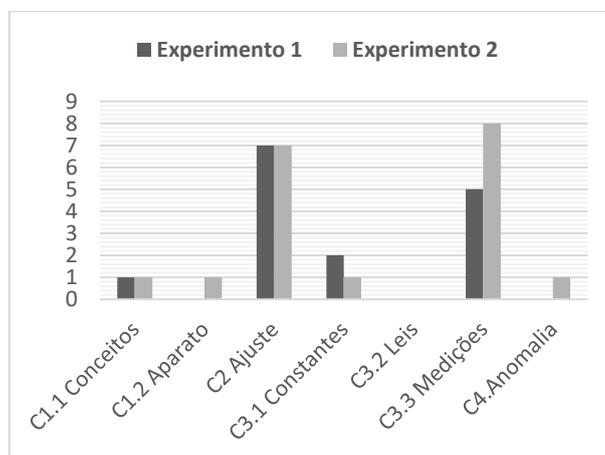


Gráfico 3 – Frequência dos relatos no momento da execução do experimento em sala de aula

Fonte: os autores

Durante a execução em sala de aula foi possível destacar em ambos os experimentos a predominância das categorias C2 (Ajuste de dados) e C3 (Articulação da teoria), para esta última, especificamente, a subcategoria C3.3 (Medições) pois, nesta fase, os monitores buscavam orientar os alunos de como proceder corretamente para que os resultados obtidos pudessem se ajustar à teoria correspondente. Isso só foi possível pelo fato de os monitores terem sido orientados pelo professor sobre quais dados experimentais resultariam na melhor relação entre as teorias e cada um dos experimentos.

Por fim, no Gráfico 4, organizamos o que ocorreu no momento posterior à realização das atividades em sala de aula.

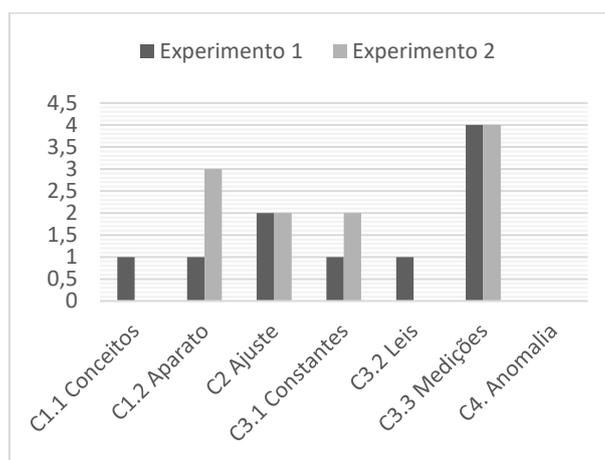


Gráfico 4 – Frequência dos relatos no momento da discussão pós-aula

Fonte: os autores

Durante a discussão realizada pelos monitores, após a aplicação dos experimentos na sala de aula, houve maiores frequências relacionadas novamente à obtenção/tratamento dos dados experimentais (C3.3 Medições), que influenciaram nos valores obtidos nas fases anteriores da proposta interventiva.

Sinalizamos também a presença de relatos referentes à subcategorias C1.1 (Conceitos), revelando que, mesmo após as fases anteriores, os monitores ainda continuavam com dúvidas conceituais e fenomenológicas, ressaltando o importante papel do professor como orientador, no que diz respeito aos fatos experimentais e aos paradigmas em consideração, novamente o destaque da categoria C2, exercida principalmente pelo docente.

Nessa fase, o segundo experimento se diferencia em relação ao primeiro devido à frequência maior para a subcategoria C1.2, uma vez que as características do aparato proporcionaram maior quantidade de comentários e questionamentos por parte dos monitores. Pode-se destacar ainda a presença da C3.1, no segundo experimento, já que as discussões sobre o aparato tinham como objetivo buscar a determinação de uma velocidade constante para o movimento da arruela pelo parafuso.

Nas seções anteriores deste artigo, procuramos expor de forma descritiva e analítica os movimentos da investigação que realizamos. A seguir inserimos alguns comentários conclusivos do que esta situação nos proporcionou.

Considerações finais

Com base no artigo de Arruda, Silva & Laburú (2001), que inspirou e deu norte ao desenvolvimento desta investigação cujos resultados aqui apresentamos, o qual considera as ideias de Kuhn e afirma que a função do professor seria a de ensinar os paradigmas que predominam na Ciência normal e, assumindo, previamente, as quatro funções do experimento para o ensino de Física propostas na *concepção adaptativa do laboratório didático*, por categorias *a priori*, constatamos a presença de todas elas para as situações pesquisadas. Com ênfase para as categorias C2 e C3, respectivamente, Ajuste de fatos e Articulação da teoria, esta última representada com maior frequência pela subcategoria C3.3 – Medições.

É fato que discussões sobre medições (C3.3) são inerentes a qualquer atividade experimental, por isso a grande frequência em todos os momentos observados nesta investigação. Quanto ao ajuste de fatos experimentais (C2) às teorias vigentes, cremos que neste caso ela está relacionada com a atuação do professor, segundo o caminho pedagógico natural em uma perspectiva epistemológica inspirada em Thomas Kuhn. E cabe destacar ainda, que os monitores compartilharam desse papel, principalmente, durante a execução dos experimentos em sala de aula junto aos demais alunos da turma do Ensino Médio observada, pois já estavam previamente instruídos pelo docente.

Pudemos evidenciar uma menor quantidade de discussões a respeito dos fenômenos físicos (C1) envolvidos, especialmente quanto às características do aparato experimental (C1.2) e à determinação de constantes físicas (C1.1).

Com relação à obtenção de Leis empíricas (C3.2) e às interpretações das atividades experimentais no ensino de Física, em especial para os monitores, pode-se concluir que a realização do experimento por si só não fez com que eles estabelecessem as relações entre as grandezas, leis ou teorias. Corroborando com o que afirmam Arruda, Silva & Laburú (2001), sobre a observação de regularidades e as relações entre variáveis, indicando que pode ser um problema fora do alcance dos estudantes, principalmente do ensino médio.

Em poucos momentos foi possível identificar a categoria C4 (Detecção e reconhecimento de anomalias) nos questionamentos dos monitores e dos alunos, destaque também realizado por Arruda, Silva & Laburú (2001, p.105),

[...] é muito improvável que os estudantes, principalmente do ensino médio, dedutivamente, consigam dar conta satisfatoriamente de uma anomalia. Quase sempre caberá ao professor apontar as soluções e oferecer saídas que tornarão a atividade experimental dotada de sentido e interessante aos estudantes.

Corroborando com tal exposição, nos momentos em que tais anomalias contrariavam as expectativas prévias dos monitores, isso os motivou a questionar, indagar, e nesse processo interativo coube ao professor apontar soluções, dirimir dúvidas e dotar de sentido os experimentos realizados. Outrossim, não evidenciamos uma mudança conceitual completa por parte dos monitores frente à C4, apenas foi observado que em tais momentos o ambiente se tornou propício às discussões conceituais/procedimentais acerca dos fenômenos físicos envolvidos.

Por fim, com o desenvolvimento desta pesquisa, foi possível identificar as funções da experimentação a partir de uma proposta para o ensino de Física inspirada na concepção adaptativa do laboratório didático. E ainda que tal concepção revela e constata a importância do papel do professor de Física na proposição de atividades experimentais baseadas em uma relação dialógica com os alunos, proporcionando a eles um ambiente de aprendizagem de conceitos científicos e, mais

amplamente, de uma linguagem científica. Informações e constatações essas que nos auxiliam a responder à questão deflagradora desta investigação: para que serve mesmo o experimento no ensino de Física?

Referências

Arruda; Silva, M., & Laburú, C. E. (2001). Laboratório didático de Física a partir de uma perspectiva kuhniana. *Investigações em Ensino de Ciências*. Acesso em 12 ago., 2019, <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/588/381>.

Bardin, L. (2011). *Análise de conteúdo*. Porto: Edições 70.

Bogdan, R. C., & Biklen, S. K.(1994). *Investigações qualitativas em educação*. Porto: Porto Editora.

Flick, U.(2009). *Introdução à pesquisa qualitativa*. Tradução de Joice Elias Costa. Porto Alegre: Artmed.

Kuhn, T. S. (2013). *A estrutura das revoluções científicas*. 11. ed. São Paulo: Perspectiva.

Kuhn, T. S.(2011a). A função da medição na física moderna. In: T. S. KUHN, *A tensão essencial* (pp.195-340). São Paulo: Editora UNESP.

Kuhn, T. S. (2011b). Tradição Matemática *versus* tradição experimental no desenvolvimento das ciências físicas. In: T. S. KUHN, *A tensão essencial* (pp. 55-89). São Paulo: Editora UNESP.

Lüdke, M. (2001). A complexa relação entre o professor e a pesquisa. In: M. E. D. A. ANDRÉ (Org.), *O papel da pesquisa na formação e na prática dos professores*. (pp. 27-54) Campinas: Papirus.

Moraes, R. (2003). Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. *Ciência & Educação*. Acesso em 19 ago., 2019, <http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v9n2/04.pdf>.

Moraes, R., & Galiazzi, M. C. (2011). *Análise Textual Discursiva*. Ijuí. Unijuí.

Reynaud, S. (2007). A natureza do Fóton. *Scientific American Brasil*, 39, 6-11.

Wolney Filho, W. (2003). Origens da Mecânica Quântica. In: W. WOLNEY FILHO, *Mecânica Quântica* (pp.19-58). Goiânia: Editora da UFG.