



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FÍSICA “GLEB WATAGHIN”
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MULTIUNIDADES EM
ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

JOSÉ WAGNER CAVALCANTI SILVA

**CONTRIBUIÇÃO DA AUTOMAÇÃO NO LABORATÓRIO DIDÁTICO DE
FÍSICA PARA A APRENDIZAGEM DE CONTEÚDOS PROCEDIMENTAIS NO
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

CAMPINAS

2022

JOSÉ WAGNER CAVALCANTI SILVA

**CONTRIBUIÇÃO DA AUTOMAÇÃO NO LABORATÓRIO DIDÁTICO DE
FÍSICA PARA A APRENDIZAGEM DE CONTEÚDOS PROCEDIMENTAIS NO
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto de Física “Gleb Wataghin” da Universidade Estadual de Campinas como parte do requisito exigidos para obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências e Matemática na área de concentração em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientadora: Dr^a. Elisabeth Barolli

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA
PELO ALUNO JOSÉ WAGNER
CALVALCANTI SILVA E ORIENTADA
PELA PROF^A. DR^A. ELISABETH BAROLLI.

CAMPINAS

2022

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Física Gleb Wataghin
Lucimeire de Oliveira Silva da Rocha - CRB 8/9174

Si38c Silva, José Wagner Cavalcanti, 1981-
Contribuição da automação no laboratório didático de física para a aprendizagem de conteúdos procedimentais no curso de engenharia de computação / José Wagner Cavalcanti Silva. – Campinas, SP : [s.n.], 2022.

Orientador: Elisabeth Barolli.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin.

1. Laboratórios didáticos. 2. Conteúdos procedimentais. 3. Incertezas experimentais. I. Barolli, Elisabeth, 1953-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física Gleb Wataghin. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Contribution of automation in the teaching physics laboratory for the learning of procedural contents in the computer engineering course

Palavras-chave em inglês:

Didactic laboratories

Procedural contents

Experimental uncertainties

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Titulação: Doutor em Ensino de Ciências e Matemática

Banca examinadora:

Elisabeth Barolli [Orientador]

Maurício Urban Kleinke

Fernando Luiz de Campos Carvalho

Silmar Antônio Travain

Samuel Rocha de Oliveira

Data de defesa: 22-08-2022

Programa de Pós-Graduação: Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0003-2605-5969>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/7331616604267808>



COMISSÃO EXAMINADORA

Data: 22 / 08 / 2022

Prof^a. Dr^a. Elisabeth Barolli (Presidente - Orientadora)

Prof. Dr. Maurício Urban Kleinke (IFGW – UNICAMP)

Prof. Dr. Fernando Luiz de Campos Carvalho (UNESP – São José dos Campos)

Prof. Dr. Silmar Antônio Travain (Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP)

Prof. Dr. Samuel Rocha de Oliveira (IMECC – UNICAMP)

A Ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Dedico este trabalho com todo meu amor e reconhecimento ao meu pai José Carlos Cavalcanti Reis, ao meu avô e pai Honório Pereira da Silva, à minha avó e mãe Alzira Florentino de Lima Silva (Dona Nina) e ao meu tio Gleudistone Pereira da Silva (Tony).

In Memoriam.

AGRADECIMENTOS

O grande problema em redigir um texto de agradecimentos é deixar de citar pessoas que contribuíram para a conquista do seu objetivo, expressando, muitas vezes, apenas um leve sorriso ou uma palavra de motivação. Peço desculpas àquelas cujos nomes não estiverem nesta singela página, mas que estarão, sem dúvida alguma, marcadas no meu pensamento e coração.

Agradeço ao mestre Jesus pela sua misericórdia e bondade que, através de pessoas bondosas, tem me amparado e por continuar me proporcionando forças para que eu possa prosseguir com minha caminhada nesta jornada terrestre. Agradeço a minha família, em especial à minha mãe Giseli Pereira da Silva e à minha tia Gelba Pereira da Silva pelo amor abundante que sempre verteram a mim e por sempre estarem presentes nos momentos em que eu necessitar. À Alessandra Uchôa e Elvira Carmen Uchôa pelo carinho e suporte que me deram nos momentos difíceis que enfrentei e pelo acolhimento que sempre me oferecem quando preciso. Aos amigos e amigas pelos momentos de descontração, pelos conselhos e apoio nos momentos tormentosos. Em especial, aos amigos Bruno Fontes, Paulo Henrique e a amiga Mônica Paula por todo o suporte que me deram durante todos os anos que temos convivido juntos.

Ao Programa de Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM) da UNICAMP, representado por todo o seu corpo técnico (em especial ao Fabricio César Bergamaschi) e corpo docente, que subsidiou um aprendizado com bases sólidas para minha vida profissional. À Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido por articular e viabilizar, por meio do Doutorado Interinstitucional (DINTER), a oportunidade de ingresso no PECIM.

E o agradecimento especial é dedicado à minha orientadora: professora Elisabeth Barolli. Não só pela inesgotável paciência que teve comigo, mas pelo sentimento fraternal com o qual conduziu todo o percurso de orientação desta pesquisa, desde o primeiro dia do meu ingresso no programa até o momento da escrita da última letra deste trabalho. Embora não haja verbo capaz de expressar a intensidade de um sentimento, deixarei registrado aqui: muito obrigado, professora.

Resumo

Uma das funções atribuídas aos laboratórios didáticos é o desenvolvimento dos conteúdos procedimentais. A habilidade de calcular as incertezas experimentais e interpretá-las no contexto em que foram estimadas podem ser caracterizadas como um tipo de conteúdo procedimental. Entretanto, pesquisas revelam que, mesmo com a proposta de desenvolver tais conteúdos, uma das grandes dificuldades identificadas nos estudantes de graduação nas atividades desenvolvidas dentro do laboratório didático de Física é a compreensão do papel das incertezas e erros experimentais na análise do fenômeno observado. O objetivo desta pesquisa foi realizar uma investigação acerca de como o emprego de uma abordagem experimental, usando a automação de experimentos de física, poderia facilitar a aprendizagem dos conteúdos procedimentais dos estudantes do curso de engenharia de computação, em especial, aqueles que se referem ao tratamento e interpretação das incertezas instrumentais e erros experimentais. A pesquisa foi desenvolvida seguindo uma metodologia que se utilizou de uma abordagem que privilegiou o contato com os sujeitos investigados e que permitiu estudar as ações dos estudantes na condução da atividade experimental acerca da conservação da energia mecânica de corpos em rolamento. A atividade experimental foi dividida em três etapas e executada ao longo de três aulas consecutivas. A análise dos dados foi realizada em acordo com a análise textual discursiva, por meio da qual foi possível analisar os principais eventos ocorridos nas discussões feitas pelos estudantes acerca de todo o processo experimental vivenciados por eles. Essa análise possibilitou realizar uma inferência acerca da contribuição da automação para a aprendizagem dos conteúdos procedimentais.

Palavras-chave: Laboratório Didático; Conteúdos Procedimentais; Incertezas Experimentais

Abstract

One of the functions assigned to teaching laboratories is the development of procedural contents. The ability to calculate experimental uncertainties and interpret them in the context in which they were estimated can be characterized as a type of procedural content. However, research reveals that, even with the proposal to develop such contents, one of the major difficulties identified in undergraduate students in the activities developed within the didactic physics laboratory is the understanding of the role of uncertainties and experimental errors in the analysis of the observed phenomenon. The objective of this research was to carry out an investigation into how the use of an experimental approach, using the automation of physics experiments, could facilitate the learning of procedural content by students of the computer engineering course, in particular, those referring to the treatment and interpretation of instrumental uncertainties and experimental errors. The research was developed following a methodology that used an approach that privileged the contact with the investigated subjects and that allowed to study the actions of the students in the conduction of the experimental activity about the conservation of the mechanical energy of rolling bodies. The experimental activity was divided into three stages and performed over three consecutive classes. Data analysis was carried out in accordance with discursive textual analysis, through which it was possible to analyze the main events that occurred in the discussions made by the students about the entire experimental process experienced by them. This analysis made it possible to make an inference about the contribution of automation to the learning of procedural contents.

Keywords: Didactic Laboratory; Procedural Contents; Experimental Uncertainties

Lista de Siglas

BCT – Bacharelado em Ciências e Tecnologia
BTI – Bacharelado em Tecnologia da Informação
CEMR – Conservação da Energia Mecânica de Corpos em Rolamento
CES – Conselho Nacional de Educação
CMPF – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros
DCN – Diretrizes Curriculares Nacionais
LB – Laboratório Biblioteca
LD – Laboratório Demonstrativo
LDiv – Laboratório Divergente
LE – Laboratório Epistemológico
LED – Light Emitting Diode
LEx – Laboratório com Ênfase na Estrutura do Experimento
LI – Laboratório Investigativo
LP – Laboratório Projeto
LT – Laboratório Tradicional
MRU – Movimento Retilíneo Uniforme
PIBIC – Programa Inter
PPC – Projeto Pedagógico do Curso
REUNI – Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
SiSU – Sistema de Seleção Unificada
TEF – Tensão Elétrica Sobre o Fototransistor
UEPB – Universidade Estadual da Paraíba
UFCG – Universidade Federal de Campina Grande
UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
USB – Universal Serial Bus
VBA – Visual Basic for Application
VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia

Lista de Figuras

Figura 1: Representação do continuum Laboratório Didático.....	23
Figura 2: Representação do aparato experimental para o estudo de queda livre.....	30
Figura 3: Ilustração do <i>sketch</i> do arduino.	33
Figura 4: Resumo e descrição da placa arduino versão uno.....	34
Figura 5: Arranjo experimental da etapa 1.	49
Figura 6: Arranjo experimental da etapa 2.	50
Figura 7: Arranjo experimental construído.....	52
Figura 8: Pontos de vista e esquema do funcionamento do sensor TCR 5000.	52
Figura 9: Circuito elétrico auxiliar.....	53
Figura 10: <i>Layout</i> da área de trabalho da planilha usada para a análise dos dados.	55
Figura 11: Representação gráfica do continuum Motor/Cognitivo.....	63
Figura 12: Representação gráfica do continuum Poucas Ações/Muitas Ações.	64
Figura 13: Representação gráfica do <i>continuum</i> Algoritmo/Heurístico.....	64
Figura 14: Representação gráfica do <i>continuum</i> Algoritmo/Heurístico.....	66
Figura 15: Representação gráfica do <i>continuum</i> Técnica/Estratégia.	66
Figura 16: Ilustração da medida do diâmetro interno de um objeto circular. .	67
Figura 17: Representação do exemplo descrito por meio dos continuum.	69
Figura 18: Medida das arestas de uma folha fina.	70
Figura 19: Localização das ações silogísticas sobre os contiuums.....	73
Figura 20: Esquema do processo dedutivo sem necessidade de interpretação para a medida do comprimento.....	74

Figura 21: Esquema do processo dedutivo em que é necessário uma interpretação para a medida do período.....	75
Figura 22: Comparação entre o erro absoluto e a incerteza instrumental propagada.....	79
Figura 23: Comparação entre os arranjos experimentais.....	94
Figura 24: Layout do <i>sketch</i> e do monitor da saída serial da placa.....	97
Figura 25: Layout do <i>sketch</i> e da interface de comunicação serial.....	100
Figura 26: Indicação do local sugerido pelo estudante.....	103

Lista de Quadros

Quadro 1: Características verificadas nos trabalhos.	35
Quadro 2: Comparação entre a aprendizagem de conceito e de informação.	61
Quadro 3: Representação dos <i>continuuns</i> na concepção de Pozo e Crespo.	65
Quadro 4: Categorização das unidades de sentido da etapa 1.	81
Quadro 5: Categorização das unidades de sentido da etapa 2.	90
Quadro 6: Categorização das unidades de sentido da etapa 3.	106
Quadro 7: Panorama da distribuição das unidades de sentido e das categorias.	114

Sumário

Introdução	14
Capítulo I: Revisão bibliográfica	20
As funções do laboratório didático de física	20
Laboratório como mera ilustração da teoria.....	23
Laboratório como ambiente cognitivo fértil para a aprendizagem de ciências	26
Laboratório como promovedor de habilidades procedimentais	26
O problema das incertezas nos laboratórios didáticos	29
Arduíno e o laboratório didático de física	32
Capítulo II: O problema de pesquisa	38
Objetivo geral.....	42
Objetivos específicos	42
Capítulo III: Metodologia.....	43
Capítulo IV: Contexto da coleta de dados da pesquisa.....	47
Atividade experimental executada com o aparato do laboratório	47
Atividade experimental executada com o aparato construído	51
Capítulo V: Referencial Teórico.....	57
Conteúdos atitudinais, conceituais e procedimentais	57
Conteúdos atitudinais.....	58
Conteúdos conceituais	60
Conteúdos procedimentais.....	62
Capítulo VI: Análise dos resultados e discussões.....	72
Elementos que marcaram as três etapas da execução do experimento.....	76
Relato da primeira etapa do experimento	77
Relato da segunda etapa do experimento	83
Relato da terceira etapa do experimento.....	92
Considerações Finais	116
Referências	121
Anexos	125

Introdução

Antes de apresentar as discussões sobre o contexto através do qual surgiram as reflexões acerca da problemática sobre o ensino de física experimental para os cursos de engenharias, farei uma apresentação do meu percurso acadêmico. Devido à necessidade de ter que contribuir com a economia doméstica, ingressei no curso de licenciatura em física da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) no turno da noite para que fosse possível conciliar o trabalho com o curso. No segundo ano de graduação, fui contemplado com uma bolsa de estudos do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação (PIBIC) que me propiciou uma remuneração por meio da qual ainda poderia dar um suporte na economia doméstica (comparada ao salário mínimo na época, em 2005). Desse modo, valia a pena abandonar o trabalho formal para dedicar-me totalmente ao curso. O projeto de iniciação científica que participei foi na área de cosmologia no qual estudei as soluções da equação de campo de Einstein no espaço-tempo de De Sitter. Após a conclusão desse projeto, fui novamente contemplado com outra bolsa PIBIC e nesse novo trabalho estudei o espalhamento quântico de uma partícula no espaço-tempo curvado gerado por um monopolo global. Os resultados desse projeto fundamentaram a monografia defendida no final do curso.

Ingressei no mestrado em física na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e continuei os estudos na área de cosmologia, dessa vez, porém, focando na teoria de branas desenvolvida por Randall-Sundrum e fazendo uma análise das previsões desse modelo para aceleração cósmica utilizando os dados da radiação emitida pelas supernovas. Concomitantemente ao curso de mestrado, fui aprovado na seleção de professor substituto da UEPB e, por meio dessa experiência em que lecionei tanto disciplinas teóricas quanto experimentais, foi possível refletir mais detidamente sobre o problema do ensino de física e, em especial, ao ensino de física nos laboratórios didáticos. Isso porque grande parte da minha carga horária era destinada às disciplinas experimentais. Um ano depois da defesa da dissertação (e ainda trabalhando como professor substituto na UEPB) surgiu o concurso para professor efetivo da Universidade Federal do Semi-Árido (UFERSA) para o qual fui aprovado em dezembro de 2012. Neste novo ambiente de trabalho passei a observar os mesmos problemas vivenciados tanto em sala de

aula quanto nos laboratórios didáticos de física da UEPB. No que se refere às disciplinas teóricas sabe-se que é ponto pacífico que despertar a motivação dos estudantes em compreender os conceitos das ciências básicas, em especial os de física, tem sido um grande desafio nos cursos de graduação voltados para as engenharias. Apesar de entenderem a importância da física na estrutura curricular dos seus cursos, muitos estudantes demonstram atitudes que nos levam a crer que há pouca disposição, ou até mesmo dificuldade, em aprender os conceitos geralmente requeridos para as disciplinas que tratam de conteúdos de Física. Partindo dessas observações, durante uma década de experiência docente, foi possível perceber que a organização didática dessas disciplinas se apoia sobretudo em listas de exercícios, o que favorece e reforça uma visão para os estudantes que, respondendo tais listas, eles poderiam obter sucesso nas avaliações. Assim, não há como não levantar a hipótese de que esse tipo de atitude é consequência do próprio modelo de ensino.

Como destacado por Carvalho e Sasseron (2018) que defende o argumento de que no âmbito de um modelo de ensino em que há os agentes ativos e os passivos, no qual os professores protagonizam os primeiros e os alunos, como coadjuvantes, assumem o papel dos segundos, havia indícios de que houve aprendizado “[...] quando o aluno acertava os problemas muito parecidos com a lista de exercício já resolvidos em aulas [...]” (CARVALHO; SESSARON, 2018, p. 43). Ao longo de sua trajetória estudantil, é bastante plausível que os discentes tenham vivenciado tal modelo de ensino e condicionado-se a agir dessa forma. Porém, o cerne dessa exposição não é de perscrutar as causas dessas atitudes, mas o de trazer para reflexão sobre os caminhos que nos conduzam a modificar a maneira como eles lidam com o processo de aprendizagem.

A transposição das circunstâncias descritas acima para as disciplinas experimentais é o que se tem observado nas aulas práticas nos laboratórios didáticos. É comum que os estudantes procurem seguir o passo a passo dos roteiros da prática experimental e executem as diretrizes que o professor determina com vistas a reproduzir no relatório. Contudo, essas atitudes não nos permitem inferir se houve uma aprendizagem dos conteúdos conceituais e procedimentais abordados na atividade prática desenvolvida. Essa afirmativa tem sua sustentação

nos diversos momentos vivenciados nas atividades práticas desenvolvidas no laboratório didático que têm revelado que, passado o período das avaliações (quando aqueles conceitos e procedimentos básicos que foram trabalhados anteriormente são necessários para o desenvolvimento de um novo conteúdo), grande parte dos alunos afirma não conseguir relacionar o novo conhecimento com o que foi desenvolvido anteriormente. Assim, quando são questionados sobre as discussões escritas nos relatórios, redigidos por eles, muitos não sabem articular os conteúdos conceituais com os procedimentais.

A busca de estratégias de ensino que viabilizem o desenvolvimento desses tipos de conteúdo (conceituais e procedimentais) tem sido o propósito de muitas pesquisas, e neste trabalho delimitamos esta busca às disciplinas de física experimental e ao aprendizado dos conteúdos procedimentais no curso de engenharia de computação. Levando em consideração a redação dos relatórios das atividades experimentais, tem sido notória a grande dificuldade tanto no processo de interpretação dos resultados estatísticos, quanto na finalidade do dimensionamento das incertezas instrumentais propagadas para as grandezas físicas medidas indiretamente. Além disso, em geral, também não há uma reflexão sobre o motivo pelo qual determinados procedimentos metodológicos são efetuados para que as práticas experimentais possam ser executadas. Isso é um problema relevante já que as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) para o Ensino de Graduação em Engenharia, instituídas em 24 de abril de 2019, pela Câmara de Educação Superior (CES) do Conselho Nacional de Educação (CNE), definem (artigo 4º do capítulo II) as competências do egresso do curso de engenharia. Entre elas estão:

[...] II - analisar e compreender os fenômenos físicos e químicos por meio de modelos simbólicos, físicos e outros, verificados e validados por experimentação:

- a) ser capaz de modelar os fenômenos, os sistemas físicos e químicos, utilizando as ferramentas matemáticas, estatísticas, computacionais e de simulação, entre outras.
- b) prever os resultados dos sistemas por meio dos modelos;
- c) conceber experimentos que geram resultados reais para o comportamento dos fenômenos e sistemas em estudo. (BRASIL, 2019, p. 2)

Para o estudo em questão utilizamos como cenário uma atividade experimental, em particular, que tem como tema de estudo o princípio da conservação da energia mecânica para corpos em rolamento. O aparato usado para a abordagem experimental desse conteúdo é constituído por um lançador horizontal sobre o qual uma esfera é largada de uma posição preestabelecida. Com o auxílio de sensores ópticos, cuja função é medir o tempo que a esfera gasta para percorrer a distância entre eles, é feita uma estimativa da velocidade da esfera em um ponto do plano. Como de praxe, nesta atividade experimental é solicitado para que os estudantes comparem os resultados previstos pelo modelo teórico com os dados obtidos do experimento. Entre as atividades de análise de dados solicitados, no roteiro disponibilizado (Anexo 2) está o cálculo da propagação das incertezas instrumentais para a grandeza física medida indiretamente. Ao serem questionados acerca das causas das divergências experimentais em relação às previsões teóricas, os principais fatores apontados são provenientes das limitações instrumentais e das ações dos próprios experimentadores. Justificativas como essas são dadas na maioria (senão todos) dos experimentos realizados e, nos relatórios redigidos, essas mesmas considerações são descritas.

Outro ponto importante a ser destacado é que, em grande parte dos casos, o cálculo dos erros e incertezas se tornam apenas valores numéricos sem ter uma interpretação crítica a respeito destes. Ainda fazendo uso da atividade experimental usada como ambientação do nosso problema, é solicitado para que os estudantes calculem a incerteza propagada da velocidade prevista e observada, assim como o cálculo do erro absoluto (tomando como valor de referência a velocidade prevista). Esses cálculos são realizados pelos estudantes, contudo a análise crítica do que eles representam ficam, em geral, sem ser apresentada em suas discussões no relatório.

Em geral, nas disciplinas experimentais, o relatório é o instrumento mais usado para apreciar se houve avanços no entendimento tanto dos conteúdos conceituais, quanto dos procedimentais. A redação do relatório é uma boa atividade acadêmica para conduzir os estudantes a desenvolverem uma escrita crítica referente à análise dos dados experimentais. Entretanto, o que vem sendo observado é que muitos estudantes não têm redigido os relatórios de modo a

descrever o experimento através das suas perspectivas, bem como realizar uma discussão profunda dos resultados obtidos. Ao contrário, o que se observa, via de regra, é uma reprodução de relatórios feitos e publicados em páginas da *internet* ou que foram escritos em semestres anteriores.

É possível que a ausência de contextualização entre as atividades experimentais e os conhecimentos e habilidades referentes à futura área de atuação dos estudantes, seja um dos fatores que os conduzem tanto à falta de motivação em entender os conceitos físicos pertinentes às atividades práticas desenvolvidas, quanto à escassa reflexão em relação aos resultados obtidos através das observações realizadas nessas atividades. É muito comum verificar nas discussões dos relatórios, principalmente em relação aos erros calculados entre as previsões teóricas e os resultados obtidos pela experimentação, as causas para as divergências encontradas são atribuídas apenas ao processo de execução dos experimentadores ou à limitação dos instrumentos utilizados.

Outro ponto relevante que merece ser ressaltado, é o fato das disciplinas experimentais serem, em geral, tratadas apenas como um apêndice das disciplinas denominadas teóricas nas quais os estudantes são convidados a realizar observações no laboratório apenas com o intuito de “provar” os resultados dos modelos teóricos que foram abordados em sala de aula. Os laboratórios didáticos não são encarados como tendo os seus próprios conteúdos para serem desenvolvidos e aprendidos.

Com o intuito fornecer ao leitor o panorama da estrutura desta tese, vamos apresentar no que segue a maneira pela qual organizamos este trabalho: no capítulo I é apresentado a revisão bibliográfica, na qual foi discutido os tipos de laboratórios didáticos e as funções que lhes são atribuídas a partir da perspectiva de algumas pesquisas investigadas, assim como o problema da ausência das incertezas instrumentais nas atividades práticas realizadas no âmbito deste ambiente de aprendizagem. Além disso foi realizado um levantamento bibliográfico de pesquisas que abordaram o tema da automação, usando a placa de desenvolvimento arduíno, visando debater a diferença entre os objetivos desses e a proposta deste trabalho. No capítulo II é apresentado o problema de pesquisa e o perfil dos estudantes que foram o foco desta pesquisa. Os objetivos deste

trabalho também são apresentados neste capítulo. O percurso metodológico é descrito no capítulo III, no qual é tratado sobre a atividade prática planejada para a aplicação da automação, o modo como foram coletados os dados do fenômeno de aprendizagem e a ferramenta utilizada para analisar os resultados. No capítulo IV é explorado com mais detalhes as etapas da atividade experimental planejada e o capítulo V é apresentado o referencial teórico pelo qual foram interpretados os resultados obtidos pela abordagem experimental proposta neste trabalho. No capítulo VI é dedicado à análise dos resultados e as discussões a partir das descrições das ações dos estudantes realizadas na atividade experimental proposta. E por fim, nas considerações finais é feita uma recapitulação das principais discussões realizadas ao longo do trabalho e dos resultados obtidos, discutindo as vantagens e limitações do uso da automação na aprendizagem de conteúdos procedimentais para os estudantes do curso de engenharia de computação.

Capítulo I: Revisão bibliográfica

Neste capítulo faremos uma perscrutação a respeito dos principais aspectos dos laboratórios didáticos a partir da perspectiva de alguns trabalhos que se dedicaram à pesquisa desse tema. Apresentaremos um panorama geral acerca dos atributos que lhes são conferidos. Entretanto, é necessário fazer a ressalva de que há um amplo espectro do modo como os laboratórios didáticos são classificados. Tendo em vista essa particularidade, traremos para a discussão um recorte desse espectro.

As funções do laboratório didático de física

A disposição em delinear concepções para o laboratório didático ganhou um crescente interesse no nosso país, a partir da década de oitenta do século XX. Por outro lado, em outros países, em especial nos Estados Unidos, pesquisas com o objetivo de definir os propósitos do laboratório didático já vinham sendo conduzidas desde a década de cinquenta do mesmo século, como destacam GRANDINI e GRANDINI (2004). Segundo esses autores, há duas grandes linhas filosóficas de se encarar os objetivos dos laboratórios didáticos.

Uma linha defende que para sedimentar os conceitos expostos em aulas teóricas é necessária a prática em laboratório. A outra linha defende que o alvo da prática em laboratório deveria ser a obtenção e a análise de dados, levando-se em conta a teoria aprendida. (GRANDINI; GRANDINI, 2004, p. 251).

O trabalho desenvolvido por Barolli, Laburú e Guridi (2010) trouxe uma contribuição relevante no sentido de trazer à luz um recorte desse extenso espectro de concepções. O propósito de apresentar tais concepções não consiste em fazer uma comparação com vistas a eleger a que é mais conveniente para ser adotada. Caminhar nesta direção não nos subsidiaria contribuição alguma ao objetivo delineado nesta pesquisa. Ademais, os laboratórios didáticos têm sobrevivido todo esse tempo devido, diretamente, à diversidade de finalidades que lhes têm sido atribuídas (WHITE, 1996 apud BAROLLI; LABURÚ; GURIDI, 2010).

Podemos representar os tipos de laboratório por meio de um *continuum* à semelhança do que é proposto por Zabala (1999) para representar os tipos de conteúdos da aprendizagem, como serão discutidos mais adiante. O conceito de

continuum está fundamentado na característica de não apresentar fronteiras delimitadas, de modo que os atributos de algo que se pretende representar por meio deste podem ser sobrepostos, à semelhança de um gradiente de cores no qual não é possível indicar fronteiras rígidas, embora seja possível identificar a diferença entre os extremos. Para conduzir a construção do *continuum* laboratório didático utilizamos dois critérios: o “grau de liberdade” que a execução das atividades práticas possui em relação a um roteiro preestabelecido e o nível de rigidez desse roteiro. A escolha desses critérios parte da premissa de que uma atividade prática pode seguir um roteiro preestabelecido, porém, esse pode exercer um papel coadjuvante, ou seja, atua apenas como um indicador do percurso da atividade (roteiro pouco rígido). Por outro lado, pode haver atividades práticas nas quais contemplar todo o processo estabelecido pelo roteiro é a finalidade da própria atividade experimental, tornando, assim, o roteiro protagonista da atividade. Além disso, o próprio roteiro apresenta uma estrutura bastante normativa (roteiro muito rígido) de maneira que a execução da atividade não admite ações que não estejam descritas em seu escopo.

Posto dessa forma, a escala que define o *continuum* parte de um extremo no qual estão situadas as atividades que possuem maior dependência de um roteiro preestabelecido e bastante rígido (extremo esquerdo) até aquelas nas quais o roteiro desempenha um papel norteador e cuja rigidez é mínima ou que pode até mesmo não possuir roteiro algum (extremo direito).

A classificação quanto ao tipo de laboratório foi feita baseada numa compilação das definições sobre os possíveis tipos de laboratório apresentadas nos trabalhos de Macedo (2010) e de Alves Filho (2000).

- Laboratório Tradicional (LT): É aquele no qual as atividades experimentais são guiadas por um roteiro com uma estrutura rígida. O estudante fica em uma atitude passiva frente à exploração do arranjo experimental e do conhecimento por trás dos procedimentos delineados. O professor assume o protagonismo na execução do experimento deixando a cargo dos estudantes apenas a tarefa de responder às questões determinadas pelo roteiro.
- Laboratório Biblioteca (LB): Esse modelo de laboratório foi idealizado por Oppenheimer e Correl (1964) cuja função é proporcionar aparatos

experimentais que fiquem montados permanentemente à disposição do aluno e que tais aparatos propiciem que as práticas experimentais sejam executadas de forma rápida. Nesse tipo de laboratório as atividades estão ainda bastante dependentes de um roteiro pouco flexível, porém, o menor número de procedimentos solicitados nesses roteiros o diferencia do laboratório tradicional.

- Laboratório Demonstrativo (LDem): Recebe esse nome por causa da sua principal característica que é de dar suporte ilustrativo para os conceitos desenvolvidos nos conteúdos ministrados. De acordo com Alves Filhos (2000), esse tipo de laboratório foi o primeiro a ser implementado e sua origem se perde na bruma do tempo.
- Laboratório com Ênfase na Estrutura do Experimento (LEx): Nesse ambiente o objetivo é, que por meio da identificação e perscrutação do experimento, o estudante tenha a possibilidade de ter a aprendizagem dos conceitos pertinentes aos conteúdos do fenômeno estudado.
- Laboratório Divergente (LDiv): O foco nesse tipo de laboratório é de desenvolver, mediante o debate entre o professor e os estudantes sobre o "método científico", as habilidades oportunas ao processo de experimentação bem como o discernimento acerca do planejamento desse processo.
- Laboratório Investigativo (LI): A estrutura desse laboratório é alicerçada no objetivo de explorar os fenômenos com o devido registro da atividade experimental. Toda a atividade prática executada é guiada com o viés investigativo.
- Laboratório Epistemológico (LE): Esse tipo de laboratório apenas especifica o objetivo da atividade prática e deixa ao estudante a tarefa de delinear o procedimento de sua execução. O enfoque desse tipo de laboratório é que tendo por intermediário o debate gerado acerca dos fenômenos, o estudante desenvolva uma postura crítico-reflexiva que viabilize a construção histórica-filosófica dos conceitos abordados no experimento.
- Laboratório Projeto (LP): O objetivo nesse ambiente é de possibilitar que, através do planejamento de ensaio experimental, seja explorada de maneira

detalhada discussões sobre os diversos enfoques acerca das metodologias de investigação científica.

Figura 1: Representação do continuum Laboratório Didático.



Fonte: Autoria própria

Partindo das sínteses apresentadas que definem os tipos de laboratórios, vamos expor os argumentos que fundamentam a localização de cada tipo de laboratório ao longo do *continuum*. É necessário chamar a atenção para o fato que a ordenação apresentada nada tem de absoluto e que por se tratar de um *continuum* não há fronteiras delimitadas que separam abruptamente um tipo do outro. Isso pode ser explicado considerando que o docente possui a liberdade em atribuir, tanto no que diz respeito ao “grau de liberdade” que uma atividade possa ter em relação à sua dependência a um roteiro rigidamente estruturado, quanto à rigidez do próprio roteiro. Partindo deste ajuste, conseqüentemente, a classificação definida ao longo do *continuum* pode ser modificada. Ademais, o próprio critério que orienta a construção do *continuum* pode ser modificado. Seria possível, por exemplo, eleger como critério o nível de interatividade do estudante com o aparato experimental.

Recapitulando o que foi exposto, organizamos a classificação dos laboratórios didáticos em um *continuum* por meio de uma lente através da qual focalizamos a magnitude da vinculação entre as atividades práticas e de um roteiro predefinido. Modificaremos a nossa lente e classificaremos os laboratórios por intermédio das funções que mais frequentemente lhes são atribuídas. Articularemos tais funções com os tipos de laboratório descritos anteriormente. Vale a pena novamente destacar que tais classificações nada tem de absoluto como nada tem de rígida a associação entre tais classificações e os tipos de laboratórios descritos até aqui.

Laboratório como mera ilustração da teoria

Dentro dessa perspectiva, as atividades práticas executadas no laboratório didático possuem a característica de realizar a mediação entre os fenômenos observados e os conceitos físicos estudados. Essa característica é tão marcante

que o próprio laboratório se torna muitas vezes um ambiente que apenas assessora a disciplina teórica. Dentro dessa perspectiva podemos, de imediato, enquadrar o laboratório tradicional já que nesse tipo de laboratório os estudantes são conduzidos, por meio de roteiros, à reprodução de resultados (baseados em modelos teóricos) esperados nas atividades práticas, ou seja, a ênfase é de “facilitar a aprendizagem de conceitos, relações, leis e princípios, isto é, de conhecimentos já estabelecidos.” (ROSA, 2003, p. 102).

Segundo Marineli (2007), a exploração do aspecto empírico da física é atributo do laboratório. É nesse espaço em que os estudantes assumem, aparentemente, uma posição menos passiva frente aos temas abordados - tomando como referência a atitude deles em sala de aula que, basicamente, consiste em ouvir o professor e resolver exercícios – e partem para o contato mais direto com os fenômenos naturais. Contudo, o autor chama a atenção de que pelo fato de os estudantes estarem manipulando instrumentos não é indício suficiente de que esses não estejam numa posição menos passiva frente aos conteúdos abordados.

A maioria dos autores, descrevem as atividades práticas como estratégias de ensino que possibilitam: promover o aperfeiçoamento da disciplina, devido a sua capacidade de relacionar aspectos teóricos e práticos [...]. (PINTO, 2018, p. 39).

Para Brodin (1978 apud ROSA, 2003, p. 93) o laboratório é "o elo que falta entre o mundo abstrato dos pensamentos e ideias e o mundo concreto das realidades físicas. O papel do laboratório é, portanto, o de conectar dois mundos, o da teoria e o da prática [...]". Por outro lado, esses dois mundos possuem características bastante diferentes, de modo que não é uma tarefa simples operar essa conexão entre esses por meio das atividades desenvolvidas no laboratório didático. Isso porque nas atividades desenvolvidas nesse ambiente também não estão isentas de se valer de conteúdos abstratos para que seja possível a implementação experimental, por exemplo: no estudo do circuito RC (resistor e capacitor) conectados em série a uma fonte elétrica de tensão e corrente alternadas, há uma grandeza chamada diferença de fase entre a tensão e corrente elétricas que é considerada bastante abstrata pelos estudantes. Implementando esse circuito no laboratório didático é possível realizar a medida indireta da

diferença de fase por meio de um osciloscópio. Entretanto, essa grandeza não se torna menos abstrata já que o que se mede com o osciloscópio é o tempo de atraso entre os sinais de tensão da fonte e da tensão sobre o resistor ou sobre o capacitor. Ademais, como o osciloscópio não mede corrente elétrica diretamente, é necessário abstrair o que se observa diretamente na tela do osciloscópio (tensões da fonte e de um dos outros componentes) e imaginar que um dos sinais representa indiretamente o comportamento da corrente elétrica.

No trabalho desenvolvido por Yamazaki e Yamazaki (2017), é discutido a concepção dos estudantes de graduação sobre o laboratório didático e a relação deste com a construção do conhecimento. Segundo os autores, os estudantes demonstraram uma concepção antagônica referente ao empirismo e racionalismo, pois: “Para os estudantes que participaram da pesquisa, atividades experimentais podem comprovar teorias e também gerar novos conhecimentos, ou seja, afirmam perspectivas ora racionalistas, ora empiristas, [...]” (YAMAZAKI; YAMAZAKI, 2017, p.47). Contudo, a ideia de conexão que os alunos fazem entre a realidade e o conhecimento físico é o fundamento de tais concepções.

Alicerçada em entrevistas realizadas em sua pesquisa, Rosa (2003) apresenta seus apontamentos com relação à percepção dos professores sobre a finalidade das atividades experimentais nos laboratórios didáticos.

O ensino experimental apresenta uma significativa contribuição no âmbito da relação entre os conceitos científicos e os conceitos cotidianos. Embora esta questão não tenha sido investigada diretamente, ela pôde ser identificada na fala dos entrevistados, para os quais as atividades de laboratório são desenvolvidas de modo a buscar a proximidade entre os conceitos cotidianos e científicos. (ROSA, 2003, p. 104)

Podemos perceber que, como destacado por Barolli, Laború e Guridi (2010, p. 10), a ênfase em se trabalhar a relação entre experimento e teoria “reside na consolidação de um modelo, de uma lei ou mesmo no esclarecimento daquela relação”.

Laboratório como ambiente cognitivo fértil para a aprendizagem de ciências

Tendo em vista a diversidade de objetivos que é atribuída ao laboratório didático, alguns investigadores procuraram, em seus trabalhos, dispor tal diversidade por meio de categorias mais amplas. Um dos pesquisadores que explorou essa forma de organização foi Hodson (1996 apud BAROLLI; LABURÚ; GURIDI, 2010)

Desse modo, este investigador assume que as atividades práticas podem ser enquadradas no âmbito de três finalidades mais gerais e, ao mesmo tempo, relacionadas: a) ajudar os alunos a aprender ciências (aquisição e desenvolvimento de conhecimentos conceptuais e teóricos); b) ajudar os alunos a aprender sobre ciências (entender como a ciência interpreta a natureza, quais são os métodos da ciência, bem como a interação da ciência com a tecnologia); c) contribuir para que os alunos aprendam a fazer ciência (ajude os alunos a trabalhar a partir de uma prática de pesquisa). (BAROLLI; LABURÚ; GURIDI, 2010, p. 96)

Nesta perspectiva os laboratórios com ênfase na estrutura do experimento divergente, investigativo e epistemológico ajustam-se às características descritas no excerto.

Considerando que ensinar ciências pressupõe adentrar um pouco na sua dimensão epistemológica, como destacado por (MACEDO, 2013, p. 20) que considera que é “necessária uma compreensão da natureza da ciência que se pratica, de suas possibilidades e limitações [...]”, há a concepção de que o laboratório didático seja um dos meios pelos quais é possível desenvolver uma personalidade epistemológica no estudante. Nesta perspectiva, o estudante é conduzido para ir além da manipulação de instrumentos e de técnicas, de maneira que lhe é apresentada situações nas quais são suscitadas discussões acerca tanto da natureza, quanto da forma como é produzido o conhecimento científico. De acordo com Macedo (apud ANDRADE, 2010) o laboratório didático estabelece o liame entre eventos, fatos e conceitos.

Laboratório como promovedor de habilidades procedimentais

O trabalho desenvolvido por Barolli, Laburú e Guridi (2010) faz um contraste entre as percepções de alguns pesquisadores com relação à função do laboratório

didático como meio de desenvolver as habilidades procedimentais. Para Tamir (1989), de acordo com os autores, a função do laboratório está no desenvolvimento das aptidões processuais básicas como: observar, estimar ordem de magnitude e fazer inferências. Driver e Miller (1987) consideram que tais habilidades já fazem parte do mecanismo cognitivo geral e, conseqüentemente, são acessadas pelos estudantes durante as atividades experimentais, e não somente nelas. Porém, os autores destacam que não se trata propriamente de ensinar tais habilidades, mas sim, desenvolvê-las dentro de contextos determinados, ou seja, para esses pesquisadores as tarefas procedimentais dependem do contexto e do conteúdo, assim como do conhecimento prévio do aluno.

Podemos afirmar que praticamente todos os tipos dos laboratórios descritos anteriormente apoiam-se em habilidades de natureza procedimental. Por outro lado, o grau de intensidade que é dedicado ao desenvolvimento dessas habilidades varia de acordo com a ênfase dada em cada tipo de laboratório.

Devemos lembrar que o intuito desta seção foi o de apresentar um panorama geral sobre as diversas perspectivas no que diz respeito à função atribuída ao laboratório didático. Destarte, destacamos ainda que:

[...] o laboratório didático é um assunto que suscita muitas reflexões e controvérsias sobre suas potencialidades e funções, além de representar muito mais do que uma estratégia didática para pesquisadores da área de ensino de ciências. Em nossa visão, o papel do laboratório no ensino de ciências sempre será uma questão polêmica, até porque a diferença mais radical entre as diferentes concepções que podemos encontrar na literatura reside tanto nas visões de aprendizagem, quanto no processo de construção do conhecimento, como nas possibilidades do laboratório como instrumento de aquisição de conhecimento. (BAROLLI; LABURÚ; GURIDI, 2010, p. 97)

Tendo em vista todas as discussões apresentadas nesta seção, consideramos que é possível ter uma atitude flexível com relação ao modo como as atividades práticas podem ser exploradas no laboratório didático. Há uma diversidade bastante ampla de experimentos para que seja eleita uma concepção única sobre a função do laboratório que norteie o planejamento e execução de todas as atividades. Não estaríamos enveredando por um caminho muito fora da realidade em considerar a possibilidade de explorar cada uma das funções que são atribuídas ao laboratório didático durante o tempo de duração da disciplina. Por

meio de uma seleção e de um delineamento das atividades experimentais é possível contemplar as principais características descritas para as funções que são conferidas ao laboratório didático.

Vamos considerar dois conteúdos explorados no laboratório didático de física: Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) e Queda Livre de corpos. No primeiro tema seria possível planejar a atividade experimental de maneira que fosse dada uma ênfase mais intensa na adequação dos dados experimentais ao modelo teórico. Pelo fato desse tipo de movimento (MRU) ser descrito matematicamente por meio de uma função linear, é realizado um ajuste dos dados observados através de uma regressão linear, verificando o quanto os dados se aproximam da reta de regressão. No delineamento da atividade experimental o professor poderia modificar o sistema de referência (de coordenadas espaciais crescentes para decrescentes) e de maneira a comparar com as previsões teóricas quanto ao movimento progressivo e retrógrado. Dessa forma estaríamos mais próximos do tipo de laboratório mais tradicional. No caso do segundo tema, o planejamento da atividade prática poderia dar maior evidência à evolução do modelo teórico para o cálculo da aceleração da gravidade local. Isto é, partir dos conceitos que fundamentam o modelo mais simples (que leva em conta que o nosso planeta seja uma esfera) para descrever a aceleração dos corpos próximos à superfície terrestre: $g = \frac{GM}{r^2}$. O professor (por meio da análise dos dados observados) pode conduzir a discussão direcionando-a para a evolução de tal modelo, apresentando os argumentos que embasam a necessidade de utilizar uma expressão que considera o fato do nosso planeta não possuir as características de uma esfera:

$$g(\lambda, z) = \frac{g_p}{1 + \frac{\beta}{2}} \left[1 + \beta \cdot \text{sen}^2(\lambda) \cdot \left(1 - \frac{2z}{R} \right) \right]$$

em que

$g_p = 9,81m/s^2$ - Representa a gravidade padrão no nível do mar em $\lambda = 45^\circ$

;

$\beta = 5,3 \cdot 10^{-3}$ - Fator Numérico que leva em conta a rotação terrestre e o achatamento polar;

$R = 6,371 \cdot 10^6$ m - Raio da Terra que possui o mesmo volume do elipsóide de revolução;

λ -Latitude do Local;

z - Altitude do local;

O intento aqui não é enveredar pelos caminhos da dedução algébrica da equação anterior. A intenção é conduzir os estudantes para uma reflexão, partindo da comparação entre as duas expressões sobre a evolução que os modelos teóricos sofrem no sentido de descrever de maneira mais aproximada os fenômenos naturais e, alicerçados nesta comparação, tentar alçar maiores vôos em direção às discussões mais alinhadas com a epistemologia da ciência. Portanto, nessa atividade os dados experimentais são apenas plano de fundo (o cenário) pelo qual o protagonista (a discussão epistemológica) poderá transitar. Poderia ser debatido sobre o que motiva o aprimoramento dos modelos e partindo desse ponto avançar para os fundamentos da ciência, entendê-la como uma construção inacabada e realizada pela mente humana.

O problema das incertezas nos laboratórios didáticos

Os resultados de pesquisas que investigaram as atividades desenvolvidas no laboratório didático sugerem que uma das dificuldades enfrentadas pelos estudantes diz respeito à escrita de medidas diretas e indiretas acompanhadas das suas respectivas incertezas assim como no que se refere à compreensão sobre a importância de se realizar uma estimativa verossímil do dimensionamento dessa incerteza.

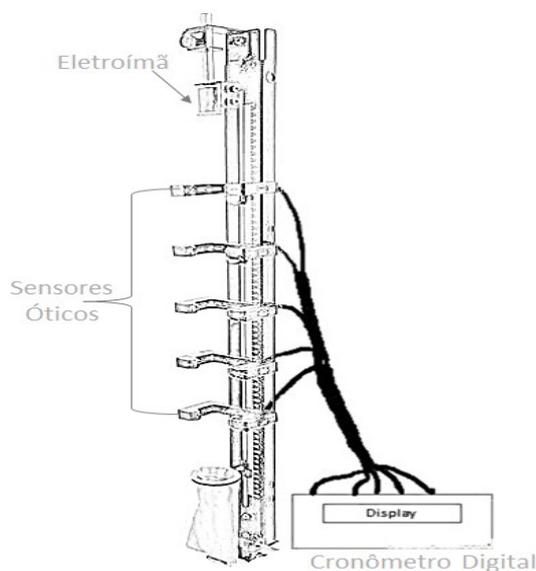
Concernente ao modo de raciocínio dos estudantes sobre o processo de medição, segundo a perspectiva de (BUFFLER; ALLIE; LUBBEN, 2010 apud MAIA; MARINHO, 2016) é possível separar esse modo de raciocínio em dois extremos.

Em um deles encontram-se os indivíduos que consideram que uma única medida realizada de alguma grandeza física é que deve ser relatada numa situação experimental. Essa característica é definida pelos autores como sendo o *paradigma pontual*. Enquanto no outro extremo situam-se os indivíduos que compreendem a natureza intrínseca do processo de medição, reconhecem a aleatoriedade envolvida nesse processo e que sempre relatam um intervalo de confiança numa situação experimental. Os autores definem essa característica como *paradigma de conjunto*. Entre esses dois extremos encontra-se uma combinação das duas características.

Conforme os resultados da pesquisa de Leach (2002 apud CAMARGO FILHO; LABURÚ; BARROS, 2015) grande parte dos estudantes acreditam que uma medida sem incertezas pode ser realizada. Fundamentados em diversos trabalhos, Camargo Filho, Laburú e Barros (2015) sustentam que em geral, aparentemente, nas situações de medição, os estudantes buscam o “valor verdadeiro” da grandeza sem levar em conta a incerteza que o processo de medição está acometido.

No sentido de articular melhor as informações trazidas por essas pesquisas com o que é vivenciado no laboratório, vamos considerar o seguinte cenário no qual é executado o experimento cujo objetivo é estimar a magnitude da aceleração local da gravidade. O aparato experimental comumente usado está esquematizado na Figura 2.

Figura 2: Representação do aparato experimental para o estudo de queda livre.



Fonte: Autoria própria.

Pelo fato de o processo de coleta da variável temporal ser completamente automatizado, grande parte dos estudantes são levados a considerar que não há incerteza na medida dessa grandeza, ou seja, acreditam que o instrumento de medida está isento de apresentar alguma variabilidade no registro do tempo. Assim, quando os relatórios sobre o experimento são redigidos, as medidas diretas referentes ao tempo não são apresentadas com suas respectivas incertezas. A constatação da falta da escrita das incertezas observadas nos registros das atividades experimentais também está reportada no trabalho desenvolvido por Marineli (2007).

Portanto, considerando que já há uma dificuldade em escrever as incertezas associadas às medidas diretas, então, podemos deduzir que a ação de calcular e escrever as incertezas propagadas dessas para as medidas indiretas também serão omitidas. No exemplo apresentado, a incerteza associada ao valor da aceleração local da gravidade não seria expressa nos resultados obtidos pelos estudantes. O que comumente é feito por eles é calcular o valor pontual e compará-lo com o de referência. Ou seja, é calculado apenas o erro experimental. Em geral essas duas grandezas são geralmente consideradas como sinônimos pelos estudantes quando estes realizam a análise dos resultados. Embora seja apresentado e discutido com base no Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) de que erro é a “diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência” (VIM, 2012, p. 21) e que:

O objetivo da medição na Abordagem de Incerteza não é determinar um valor verdadeiro tão melhor quanto possível. Preferencialmente, supõe-se que a informação oriunda da medição permite apenas atribuir ao mensurando um intervalo de valores razoáveis, com base na suposição de que a medição tenha sido efetuada corretamente. (VIM, 2012, p. x)

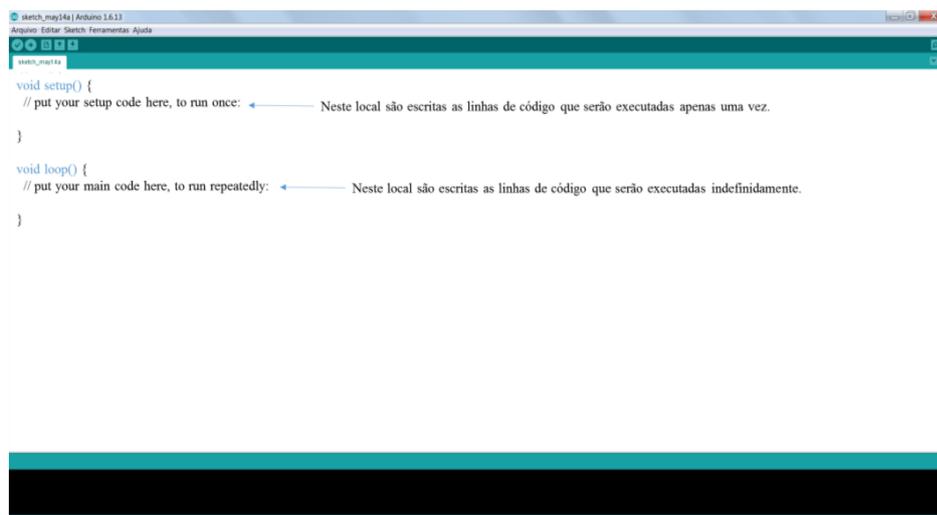
A equivalência entre erro e incerteza é uma ação tão condicionada que, mesmo havendo uma discussão sobre a definição de cada uma dessas grandezas, é bastante frequente observarmos a igualdade que é feita entre esses conceitos.

Como consequência direta dessa atitude surge a falta de compreensão sobre o que tais incertezas representam no processo experimental executado, como sobre a relevância que essa informação tem para o planejamento e dimensionamento de tal processo.

Arduíno e o laboratório didático de física

Antes de trazermos a definição que é atribuída com mais frequência à placa arduíno, vamos apresentar o conceito de sistemas embarcados. De forma bastante resumida um sistema embarcado diz respeito a um “sistema computacional completamente independente, geralmente fabricado para um propósito único, e com o objetivo de executar tarefas específicas [...]” (ARAÚJO; CAVALCANTE; SILVA, 2019, p.37). Uma variedade enorme de equipamentos eletrônicos que fazem parte do nosso cotidiano é classificada como sistemas embarcados, entre eles podemos citar: semáforos, consoles de vídeo game, brinquedos eletrônicos em geral e muito mais.

O projeto arduíno surgiu na Itália em 2005 com o propósito de solucionar problemas de prototipagem por meio de uma interface simples e que fornecesse uma comunicação completa e fácil com o microcontrolador que compõe a placa (ARAÚJO; CAVALCANTE; SILVA, 2019). A simplicidade da interface aqui apresentada diz respeito tanto à comunicação entre os *hardwares* (computador e placa) quanto à interação com o usuário, que é chamada de *Sketch*. Na primeira, não é necessário o usuário escrever as linhas de código para definir algum protocolo de comunicação entre a placa e o computador por meio da comunicação serial (porta USB), tal protocolo já está implementado através do *software* desenvolvido e que é disponibilizado de forma gratuita através do site do desenvolvedor da placa. Já ao que diz respeito a simplicidade do *Sketch*, este é fornecido com funções básicas já implementadas como o *setup* e o *loop*. Cada uma dessas funções possui linhas de códigos que definem os protocolos para que tais funções sejam executadas.

Figura 3: Ilustração do *sketch* do arduíno.

```
sketch_may14a | Arduino 1.6.13
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
sketch_may14a

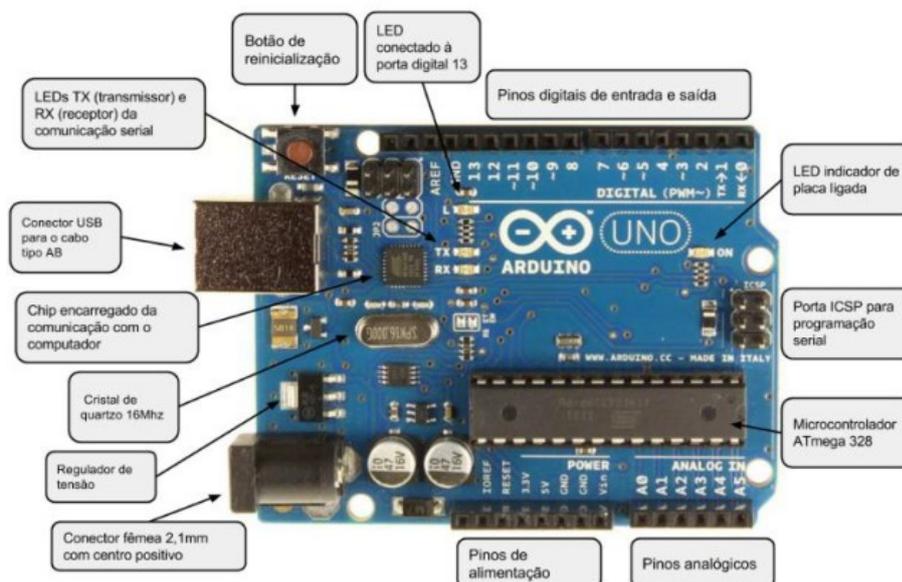
void setup() {
  // put your setup code here, to run once: ← Neste local são escritas as linhas de código que serão executadas apenas uma vez.
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly: ← Neste local são escritas as linhas de código que serão executadas indefinidamente.
}
```

Fonte: Autoria própria.

Assim posto, podemos atribuir uma definição para a placa de desenvolvimento arduíno como sendo uma plataforma através da qual é possível desenvolver sistemas embarcados cuja finalidade é de facilitar a criação de protótipos. Devido ao custo e a facilidade oferecida por essa placa para o desenvolvimento de projetos automatizados é que sua implementação no ensino de física ocorreu de forma mais vigorosa. Outro fator que pode ter contribuído para a sua incorporação em projetos no laboratório didático de física é aquele que diz respeito a uma dura realidade enfrentada por diversas instituições de ensino (seja do ensino básico ou superior): a carência de kits experimentais para a execução das atividades práticas. Esses kits, em geral, são compostos por equipamentos de elevado valor monetário e, portanto, desde o momento em que houve uma maior circulação de informações sobre os processos pertinentes à programação da placa e ao uso de diversos acessórios periféricos que podem ser acoplados à esta, há um número bastante extenso de trabalhos que versam sobre a sua utilização no ensino de física.

Figura 4: Resumo e descrição da placa arduino versão uno.



Fonte: LUCIANO, 2017, p. 36.

No trabalho desenvolvido por Moreira et al. (2018) é apresentado uma revisão sistemática de publicações – concentradas apenas em artigos publicados no período entre 2014 e 2017 em revistas classificadas com qualis A - na área de ensino na qual é discutido sobre a contribuição do arduino no ensino de física. Ademais, os autores enfatizam que sua pesquisa foi concentrada em publicações cujo tema fosse dedicado à instrumentação no ensino de física. Após a análise dos materiais selecionados por eles, na seção destinada à conclusão do trabalho eles enfatizam que a maioria dos experimentos cujos aparatos foram automatizados com a placa arduino tiveram o objetivo de apenas coletar dados (MOREIRA et al., 2018).

Por nossa vez, realizamos um levantamento de trabalhos que exploraram o uso do arduino no laboratório didático de física. Selecionamos uma amostra de vinte trabalhos (entre dissertações, teses e artigos) e, com base na análise realizada sobre esses, conseguimos categorizar em cinco grupos como exposto no quadro 2. O objetivo de tal análise e categorização foi apresentar os contrastes entre a nossa proposta e a dos trabalhos analisados.

Quadro 1: Características verificadas nos trabalhos.

1)	Aplicação do arduíno no ensino básico.
2)	Aplicação do arduíno no ensino superior.
3)	Aplicação do arduíno para automatizar a aquisição de dados.
4)	Interação entre os estudantes e os recursos oferecidos pela placa.
5)	Exploração da programação e calibração como ferramenta para a compreensão dos conceitos de incertezas e erros experimentais.

Fonte: Autoria própria.

Com respeito às duas primeiras características, essas foram inseridas com o intuito de verificarmos, dentro da amostra selecionada, em que nível do ensino a maioria dos projetos que utilizaram a placa arduíno estavam sendo implementadas. A terceira diz respeito em sabermos se o foco que mais vem sendo dado pelos trabalhos está relacionado apenas com a automatização da coleta de dados, ou seja, se o objetivo principal está apenas em produzir um aparato para coletar dados e apresentar a sua validação através da estimativa de alguma grandeza física, ou comparar com o resultado de algum equipamento que realize a mesma função que se pretende com a do projeto apresentado no trabalho. A quarta característica tem o propósito de saber se nos projetos desenvolvidos, os estudantes têm algum nível de interação com os recursos fornecidos pela placa como: montagem de algum dispositivo periférico às entradas da placa ou a abordagem, pelo menos em parte, da programação da placa. Nesta análise não contabilizamos como interação apenas a ação de acionar botões já implementados nos aparatos ou de alguma ação de relação entre os estudantes e sensores (ópticos, ultrassônico, infravermelho, etc.). Já com a quinta característica, buscamos saber se a programação da placa foi abordada em conjunto com a calibração do aparato como

meio de explorar os conceitos de erros e incertezas experimentais. De acordo com a análise realizada, pudemos perceber que grande parte dos trabalhos se dedicaram à abordagem da aplicação do arduíno no ensino básico e na automatização da coleta de dados. Dessa forma, dentro do universo pesquisado, pouco trabalhos dedicaram sua atenção ao ensino superior e não foram além da simples automatização da coleta de dados. Já em relação ao nível de interação com os estudantes com os recursos da placa, foram observados trabalhos que permitiam que os estudantes interagissem com os recursos da placa. Entretanto, no que se refere ao nível de interação quanto à programação da placa, vale ressaltar que a interação não foi muito além da abordagem de algumas linhas de comandos ou que recebiam apenas uma explicação quanto a sua função no código. No que diz respeito à quinta característica, não foi observado nenhum trabalho com tal objetivo. É importante deixar registrado que foram identificados trabalhos que apresentaram as incertezas experimentais em suas estimativas de grandezas físicas com os aparatos experimentais desenvolvidos, porém, essa apresentação mostrava-se apenas informativa (como exige o protocolo para escrita de qualquer grandeza mensurada) e não como o fim do trabalho e nem com o intuito de se investigar o desenvolvimento do pensamento estratégico ancorado na análise dos erros e incertezas experimentais.

Confrontando o perfil dos trabalhos pesquisados com o da nossa investigação, é possível perceber que a automatização da coleta de dados é o caminho pelo qual procuramos conduzir os estudantes a refletirem sobre o dimensionamento das incertezas experimentais e que por meio da sua avaliação, possa permitir a sedimentação do pensamento estratégico acerca da busca de melhorias referentes tanto ao aparato experimental quanto ao próprio processo de experimentação do qual eles participaram.

Como pudemos perceber pelo que foi descrito anteriormente, o uso do arduíno no ensino de física está bastante circunscrito no processo de automatização da coleta de dados e na busca de uma solução de baixo custo, construindo aparatos experimentais destinados ao mensuramento de grandezas físicas que possuem um maior nível de complexidade. Em ambos os casos, há o intuito da automatização da coleta de dados, entretanto, no segundo caso o objetivo

central é a construção de um aparato que possa fornecer resultados satisfatórios por meio de um sistema mais barato. Por exemplo: automatizar a coleta de dados (das grandezas tensão elétrica e tempo) no experimento destinado ao estudo do processo de carga e descarga de um circuito Resistor-Capacitor possui uma menor complexidade do que construir um radiômetro para o estudo da irradiância de uma fonte luz.

Capítulo II: O problema de pesquisa

De forma a tornar mais claro a problemática que motivou o desenvolvimento desta tese, apresentaremos antes a formação acadêmica dos sujeitos que foram investigados nesta pesquisa tomando como ponto de partida a exposição de uma breve discussão sobre a origem dos Bacharelados Interdisciplinares. A estrutura sobre a qual esses bacharelados foram delineados reflete-se diretamente nas características dos sujeitos investigados, já que esses possuem o anseio de ingressar no curso de engenharia de computação ofertado pela UFERSA.

De acordo com Veras et al. (2015), as universidades federais subsidiadas pelo Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais Brasileiras (REUNI), instituído pelo Decreto n 6.096 em 24 de abril de 2007, precisariam reformular suas matrizes curriculares de modo que houvesse uma predileção à criação de metodologias interdisciplinares e ações que oferecessem aos graduandos a oportunidade de desenvolver sua autonomia em seu percurso universitário.

Os quatro Bacharelados interdisciplinares criados em 2007 são em: Ciência e Tecnologia, Saúde, Artes e Humanidades. O tempo de integralização desses cursos variam um pouco, porém, em geral, ficam entre cinco e seis semestres. Esses cursos foram planejados para terem a finalidade de integrar vários campos do conhecimento e compõem o primeiro ciclo tornando-se pré-requisitos para os subsequentes (ALMEIDA FILHO, 2007 apud VERAS et al., 2015, p. 634).

A matriz curricular desses cursos é composta por “uma carga horária mínima de 2.400 horas para serem cumpridas divididas em duas etapas - Formação Geral e Formação Específica - que são estruturadas com eixos temáticos diversificados e módulos compostos por componentes curriculares obrigatórios, optativos e livres.” (VERAS, et al., 2015, p. 634). Ainda de acordo com os mesmos autores

Posteriormente a este ciclo inicial [formação geral], de forma complementar, o segundo ciclo integra uma formação profissional convencional conhecida como cursos de progressão linear – CPL. No entanto, o período de conclusão desta formação profissional pode ser reduzido, tendo em vista os componentes já cursados no primeiro ciclo. (VERAS et al., 2015, p. 635)

Assim posto, entre os cursos de engenharia ofertados pela UFERSA alguns não possuem admissão de alunos diretamente pelo vestibular ou pelo Sistema de Seleção Unificada (SiSU). Só serão admitidos nesses cursos “[...] apenas bacharéis em Ciência e Tecnologia que, após uma formação complementar, concluirão a formação adicional na engenharia específica”. (UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO, 2019, p. 13). O curso de engenharia de computação, por exemplo, admite alunos diplomados em ciência e tecnologia e em tecnologia da informação como pode ser percebido no seguinte excerto extraído do Projeto Pedagógico do Curso (PPC)

[...] é perceptível que os componentes curriculares definidos no Bacharelado em Ciência e Tecnologia abordam grande parte dos temas exigidos pelos referidos referenciais na formação de Graduados em Engenharia de Computação. Dessa forma, outro fator que viabiliza a criação do curso de Engenharia de Computação na UFERSA Campus Pau dos Ferros é a fácil integração com o Bacharelado em Ciência e Tecnologia [...] (UNIVERSIDADE FEDERAL DO SEMIÁRIDO, 2018, p. 9)

De acordo com o seu PPC, o curso de Bacharelado em Tecnologia da Informação (BTI) destaca que:

[...] é estruturado em moldes de operação similares ao adotado para o curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia (BCT) da mesma instituição: durante a sua graduação, o aluno do BTI cumpre uma carga horária mínima de 2.460 horas de atividades (componentes curriculares, atividades complementares, entre outras), recebe o diploma de Bacharel em Tecnologia da Informação e pode atuar no mercado de trabalho no ramo de TI ou pode requerer o ingresso em outro curso de graduação da UFERSA que esteja relacionado à área de computação e informática e que preveja em seu PPC o ingresso de discentes através do BTI. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO SEMIÁRIDO, 2016, p. 6)

Analisando a estrutura curricular dos cursos de BCT e BTI, os graduandos em ciência e tecnologia iniciam os seus estudos nas disciplinas de Física a partir do segundo semestre, enquanto para os que cursam tecnologia da informação, tais disciplinas só são obrigatórias para aqueles que optarem em cursar no segundo ciclo o curso de engenharia de computação.

Portanto, os alunos matriculados nas disciplinas de Física, e nos seus laboratórios, e que sejam provenientes do BTI são aqueles que já decidiram seguir, no segundo ciclo, o curso de engenharia de computação. Enquanto que os alunos

do BCT (que ainda estão no segundo semestre) muitas vezes, até então, não têm definido qual engenharia ofertada pela UFRSA será escolhida por eles para cursar no segundo ciclo. Além disso, os alunos de BTI já têm cursado muitas disciplinas tais como: cálculo I e cálculo II, geometria analítica, funções de várias variáveis, algoritmos e estrutura de dados I e II e cursam, concomitantemente à primeira disciplina de laboratório de física: estatística, programação orientada a objetos, bancos de dados, entre outras disciplinas específicas ao curso de engenharia de computação.

Assim posto, é notório que os alunos de BTI já possuem uma carga horária relevante em disciplinas que abordam conteúdos referentes à programação e naquelas que desenvolvem os conhecimentos matemáticos quando comparados aos graduandos do curso de BCT. Além disso, também são candidatos com maior probabilidade de ingressar no curso de engenharia de computação. Essas características que acabamos de descrever, definiram a escolha de selecionar os estudantes de BTI para serem os sujeitos da nossa pesquisa. Ademais, entre esses estudantes, aqueles que pretendem ingressar no curso de engenharia de computação precisam eleger as disciplinas teóricas de física básica em conjunto com seus laboratórios e são, como exposto anteriormente, ofertadas no quarto semestre do seu curso.

No que se refere aos laboratórios didáticos de física, esses contam com diversos kits experimentais que exploram variados temas de física e que possuem roteiros que orientam a execução das atividades experimentais. Vale a pena destacar novamente que uma das habilidades que as disciplinas de laboratório buscam desenvolver nos estudantes é aquela que diz respeito à interpretação de dados experimentais. E, ao se falar em interpretação de dados experimentais, pressupõe-se que as incertezas e erros experimentais façam parte dessa interpretação. Entretanto, ao longo do tempo tem sido observado através dos relatórios redigidos (ou mesmo por meio das discussões que surgiam após a realização de uma atividade experimental) uma ausência até mesmo da indicação das incertezas das medidas diretas. Por outro lado, quando as grandezas diretas estão escritas com suas respectivas incertezas, muitas vezes não há a propagação dessas para as grandezas indiretas.

Apesar que grande parte das atividades práticas serem realizadas usando os aparatos experimentais do laboratório, muitas vezes tem sido solicitado pelo professor aos estudantes a elaboração de projetos visando a construção de aparatos que o laboratório não possui para explorar algum tema ou também, partindo de algum modelo que existe no laboratório, a implementação de melhorias a este aparato. Em ambas situações descritas, o professor tem requisitado a implementação da automação das medidas por meio do arduino. Por exemplo: os dinamômetros que são utilizados nos laboratórios são aqueles cuja medida de força precisa ser realizada com o instrumento posicionado verticalmente. Porém, em alguns experimentos é necessário usar esse instrumento na posição horizontal. Contudo, utilizá-lo nesta configuração imprime atrito entre a parte móvel (que possui a escala da magnitude da força aplicada) e a armadura. Assim, partindo dessa situação-problema é lançada a proposta pelo professor sobre a elaboração e execução de um projeto para a construção de um dinamômetro que possibilite realizar (de forma automatizada) a medida de força na posição horizontal de modo a eliminar o atrito entre suas partes. Vale ressaltar que só após a exploração do tema que permita fornecer subsídios teóricos acerca da construção de tal instrumento é que essa proposta é colocada em prática. Isso porque esse instrumento é apresentado e utilizado nas primeiras aulas de laboratório, porém, o conteúdo referente à força elástica (que é o suporte teórico para a construção do aparato) só é desenvolvido após algumas semanas de aula.

Ao longo do tempo tem sido observado um empenho singular empregado pelos estudantes na execução dos tipos de projetos descritos que envolvem a automação. Percebeu-se que discutir as incertezas e erros experimentais a partir dos aparatos construídos por eles possibilitava uma abordagem desses temas menos enfadonhas, no sentido de que tais discussões não enveredavam pelos caminhos de ter que repetir definições escritas em algum material, mas que ocorriam pela exploração dos obstáculos que eles encontravam no processo de construção.

Assim, através dessas observações, teve início o alicerce sobre o qual as reflexões com respeito a iniciar uma pesquisa com o intuito de investigar como a automação poderia contribuir em facilitar a interpretação das incertezas e erros

experimentais. Nesse sentido, tem sido realizado pelo professor, através de um diário de campo, o registro e a sistematização de atividades experimentais realizadas pelos estudantes na exploração dos temas de física (com e sem o uso da automação). Dessa forma, com esses subsídios, tem sido possível robustecer as reflexões sobre o ensino do laboratório e, em particular, sobre o planejamento desta pesquisa.

Assim posto, definimos as perguntas que delimitam o problema de pesquisa da seguinte forma: que procedimento didático pode ser implementado na condução das atividades experimentais no laboratório didático de física que facilite a aprendizagem de conteúdos procedimentais pelos estudantes de engenharia de computação? A automação de experimentos de física poderia contribuir como um caminho por meio do qual tal procedimento didático fosse executado?

Objetivo geral

Investigar se a automação de aparatos experimentais de física pode ser utilizada como uma ferramenta pedagógica por meio da qual seja possível oferecer subsídios à aprendizagem de conteúdos procedimentais pelos estudantes do curso de engenharia de computação.

Objetivos específicos

- Contribuir com a melhoria do laboratório didático no sentido de implementação de um aparato automatizado desenvolvido especificamente para a exploração do tema da conservação da energia mecânica de corpos em rolamento;
- Compreender até que ponto a automação possibilita a aprendizagem de conteúdos procedimentais;
- Contribuir para que os estudantes possam compreender o papel do tratamento estatístico de dados como um dos alicerces para a avaliação da concordância entre as previsões de um modelo teórico e os resultados experimentais.

Capítulo III: Metodologia

Esta pesquisa é de caráter qualitativo na qual o procedimento empregado para a coleta e análise dos dados utilizou-se de abordagens interpretativas, privilegiando a compreensão dos fenômenos de aprendizagem a partir de um contato com os sujeitos investigados (BOGDAN; BIKLEN, 1999) e (MINAYO, 2004).

O estudo teve como ambiente o laboratório de mecânica clássica do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros (CMPF) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Neste laboratório tem sido ministrada a disciplina homônima que é do tipo eletiva para os sujeitos da pesquisa, que foram os alunos do quarto período do curso de Bacharelado em Tecnologia da Informação, que pretendem dar (no denominado segundo ciclo do curso) seguimento à sua formação na área de engenharia de computação.

Os dados desse estudo são provenientes do material audiovisual dos debates ocorridos entre os estudantes, como entre estes e o professor nas aulas ministradas no laboratório. Além disso, os registros feitos pelo professor, provenientes do seu caderno de campo, também foram incluídos como uma fonte de dados. Sem dúvida, como este também é o pesquisador, pudemos contar com sua memória bem como com seus registros. A condição do pesquisador ter uma presença significativa nos eventos a serem analisados possui, a nosso ver, uma importância considerável, sobretudo pelo fato de que há informações que somente podem ser reveladas e explicitadas dessa forma. Nessa perspectiva, Cassorla (2003, p. 25), afirma que “a subjetividade do pesquisador terá uma importância capital, ao contrário do que se postula nas chamadas ciências duras”. Nessas circunstâncias o pesquisador pode ter dificuldades de, ao mesmo tempo, misturar-se com seu objeto e observar como ocorre a dinâmica dessa mistura. Essa circunstância, inclusive, carrega a possibilidade do pesquisador buscar originalidade na construção do caminho que leva ao conhecimento.

Com relação à coleta dos dados provenientes das aulas, essa foi realizada ao longo de três encontros nos quais o conteúdo referente à Conservação da Energia Mecânica para corpos em Rolamento (CEMR) foi explorada com abordagens experimentais diferentes. Dito de outra forma, dividimos o experimento

que trata do tema CEMR em três etapas. As duas primeiras foram realizadas usando os equipamentos que fazem parte do patrimônio do laboratório e a terceira foi usado o arranjo experimental construído pelo professor e calibrado junto com os estudantes, por meio da automação, usando a placa arduíno.

A primeira etapa teve o objetivo de introduzir o conceito da energia cinética rotacional por intermédio de uma abordagem que partiu da problematização entre os resultados obtidos experimentalmente e os previstos por um modelo teórico. A condução desta etapa foi realizada seguindo as instruções descritas num roteiro preestabelecido (Anexo 1), o qual orientava os estudantes a investigarem, através de dois modelos teóricos, a velocidade de lançamento de uma esfera que partia de um lançador horizontal. Um destes foi o da Conservação da Energia Mecânica (CEM) no qual não está incorporado o termo da energia cinética de rotação, enquanto o outro foi o modelo cinemático. Os elementos trazidos pelos estudantes na primeira etapa subsidiaram a condução da etapa seguinte. Foi por meio destes elementos que foi dado início à busca pela compreensão do modo como os estudantes estavam percebendo o fenômeno, bem como a forma como eles têm justificado as discrepâncias entre os valores calculados. Esse relato serviu para que o professor pudesse problematizar junto aos alunos, na aula seguinte, as justificativas dadas para tais discrepâncias.

Na segunda etapa, houve a mudança do arranjo experimental assim como do modelo teórico para investigar a CEMR. A modificação feita no arranjo se deu pela implementação de sensores ópticos que compunham um multicronômetro para realizar o registro do tempo gasto pela esfera para percorrer a distância entre os sensores. Por conseguinte, o procedimento experimental também foi modificado tanto no tocante à coleta de dados quanto à maneira de calcular a velocidade de lançamento (Anexo 2). Com relação aos modelos, as discussões realizadas na etapa anterior fomentaram os debates nesta etapa acerca da introdução da energia cinética de rotação no modelo da CEMR, assim como do modelo cinemático para o cálculo da velocidade de lançamento, que nesta etapa foi calculado pela equação da velocidade descrita pelo modelo MRU.

Na terceira etapa, o tema foi retomado e a atividade prática repetida com o arranjo experimental construído e automatizado com a placa de desenvolvimento

arduíno. Nessa nova abordagem do experimento, os estudantes também foram orientados por um roteiro (Anexo 3) e tiveram a liberdade de trabalhar diretamente com as linhas de comando do algoritmo que estabelecia as funções do microcontrolador que compõem a placa. Eles foram motivados a realizar a tomada de dados a partir da problematização proposta pelo professor como pelo roteiro, que teve como base as discussões feitas na etapa anterior. Dessa forma, eles tiveram a oportunidade de refletir com todo o grupo e com o professor sobre as questões propostas no roteiro da etapa anterior. Portanto, nessa nova abordagem, os estudantes participaram ativamente do processo de calibração do arranjo experimental construído. Após esse processo, eles iniciaram a coleta de dados de acordo com o procedimento realizado na etapa anterior.

Finalizado o processo de análise dos dados, foi solicitado para que os estudantes discutissem suas impressões referente ao arranjo experimental desenvolvido, e que apontassem os fatores que colaboraram para os valores dos erros calculados. A interação entre o professor e os estudantes, assim como as conversas entre eles sobre a execução, análise e conclusões do experimento foram gravadas em mídia audiovisual com a devida autorização (Anexo 5). A análise das gravações possibilitou a obtenção de maiores informações sobre a articulação de raciocínio, assim como a obtenção de indícios acerca das facilidades/dificuldades que a nova proposta de exploração experimental trouxe para o processo de aprendizagem dos conteúdos procedimentais.

A reconstrução da história da execução das três etapas do experimento, com base nas discussões entre os estudantes e destes com o professor, foi feita pela perspectiva da análise narrativa que, de acordo com Cury (2013, p. 158): "[...] a análise narrativa desempenharia o papel de constituir o significado das experiências dos narradores mediante a procura de elementos unificadores e idiossincráticos [...]."

Alinhados com essa busca dos elementos unificadores das experiências dos participantes da pesquisa é que escolhemos narrar os acontecimentos vivenciados pelos estudantes nas três aulas sem diferenciá-los da turma a que pertenciam. Isso porque, além de não ter havido nenhuma diferença metodológica com respeito à

condução dos experimentos em cada turma, essa escolha reforça o papel da análise narrativa em dar evidência ao significado das experiências. De fato,

“O papel do investigador neste tipo de análise é configurar os elementos dos dados em uma história que os unifica e dá significado a eles com a intenção de mostrar o modo autêntico da vida individual sem manipular ou distorcer a voz de cada narrador (ou depoente) a favor de uma versão pré-estabelecida.” (CURY, 2013, p. 159)

Desse modo, a reconstrução foi feita no sentido de explicitar as diferenças em cada etapa do experimento para que possibilitasse a compreensão da maneira pela qual os estudantes deram significados às incertezas e erros experimentais.

Portanto, partindo de uma microanálise foi possível fazer inferências sobre as contribuições da automação para compreensão dos estudantes acerca do que representa a magnitude das incertezas e erros experimentais obtidos e como estes podem subsidiar estratégias na melhoria do processo experimental. Essa microanálise foi conduzida em acordo com a análise textual discursiva (MORAES; GALIAZZI, 2006) que foi utilizada como ferramenta mediadora na produção de significados, deslocando-se do empírico para a abstração teórica por meio de um movimento intenso de interpretação e produção de argumentos por parte do pesquisador.

Capítulo IV: Contexto da coleta de dados da pesquisa

Consideremos a imagem do processo de lapidação de uma pedra preciosa, o qual é considerado como sendo “[...] um conjunto de técnicas de corte e polimento que tem como objetivo ressaltar as características ópticas das gemas [...]” (NADUR 2009, p. 6 apud MOL, 2009). Neste capítulo vamos expor o contexto e a descrição das atividades experimentais executadas através das quais fomentaram a matéria prima na qual foi aplicada o processo de lapidação utilizando como ferramenta de corte e polimento a análise textual discursiva com o objetivo de ressaltar as características marcantes dos aprendizes.

Atividade experimental executada com o aparato do laboratório

Dentro do conteúdo programático da disciplina denominada Laboratório de Mecânica Clássica está o tema da conservação da energia mecânica. O laboratório onde a disciplina é ministrada dispõe de arranjos experimentais construídos por empresas especializadas. O espaço de trabalho dos estudantes é dividido em seis bancadas, com capacidade máxima de cinco alunos por bancada, de modo que, em geral, no desenvolvimento das atividades práticas as próprias bancadas definem os grupos de trabalho. Vale a pena ressaltar que o tema da CEMR é um conteúdo abordado nos últimos capítulos dos livros didáticos de mecânica. Portanto, os estudantes já têm realizado diversas atividades práticas referentes aos conteúdos anteriores à CEMR e, entre elas, estão aquelas que abordam o movimento oblíquo e o princípio da conservação da energia mecânica (que leva em conta apenas a energia cinética do centro de massa).

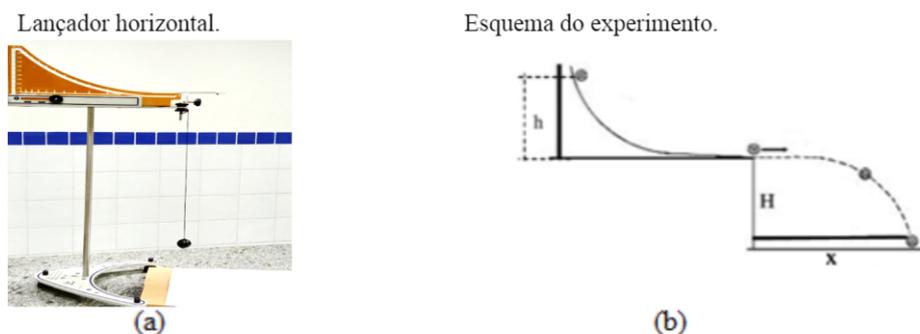
A realização do experimento cujo objetivo compreendeu a estimativa da velocidade de lançamento de uma esfera que se movimentava em um lançador horizontal (Figura 5a) foi efetuada seguindo três etapas que foram executadas em três aulas consecutivas. Em cada etapa foram apresentados os procedimentos experimentais para estimar a velocidade de lançamento da esfera, bem como os modelos teóricos que possibilitaram realizar previsões para essa grandeza e que, através dessas previsões, foi possível calcular o erro experimental.

Na primeira etapa foi feita uma retomada dos temas de movimento oblíquo e de conservação da energia mecânica. A estimativa da velocidade foi feita

utilizando as equações concernentes a dois modelos teóricos: as equações que descrevem o movimento oblíquo de um corpo (que definiremos como modelo cinemático) lançado de certa altura em relação ao solo e a equação do princípio da conservação da energia mecânica (que definiremos como modelo CEM). Nessa atividade, o lançador horizontal foi montado de acordo com o esquema ilustrado na Figura 5b. Assim posto, uma folha em branco com papel carbono sobreposta foi colocada a uma altura H do ponto de lançamento com o intuito de registrar o local de impacto da esfera. Dessa forma, a distância entre o ponto no qual a esfera foi lançada e o ponto de impacto define o alcance x . Esse procedimento foi útil para facilitar a medida do alcance após uma sequência de repetições e também permitiu que o tempo destinado à coleta desses dados fosse otimizado. Sabemos que a velocidade de lançamento, tomando como modelo teórico as equações do movimento oblíquo, é dada por: $v = x \sqrt{\frac{g}{2H}}$. Como as medidas de alcance x e de altura H são medidas diretas, as suas incertezas são definidas pelas incertezas dos instrumentos utilizados para realizar tais medidas. Por outro lado, vale lembrar que como o lançamento da esfera foi submetido a certo número de repetições, a medida de alcance é dada pela média aritmética desses dados e sua respectiva incerteza deve ser representada pela incerteza padrão que é a combinação entre a incerteza instrumental e a incerteza estatística (definida pelo desvio padrão do valor médio).

Dessa forma, a velocidade, que é uma medida indireta, teve as incertezas das medidas diretas propagadas para sua estimativa. Assim, foi pedido para que os estudantes calculassem, de acordo com a regra de propagação de incertezas, a incerteza na estimativa da velocidade. Com base nos mesmos dados coletados, foi solicitado para que os alunos calculassem a velocidade de lançamento considerando como modelo teórico a equação da conservação energia mecânica. Sabemos com base neste princípio que a velocidade no nível de referência ($h = 0$), considerando que a esfera era largada de uma altura h em relação ao nível de referência, é dada por: $v = \sqrt{2gh}$.

Figura 5: Arranjo experimental da etapa 1.



Fonte: Autoria própria.

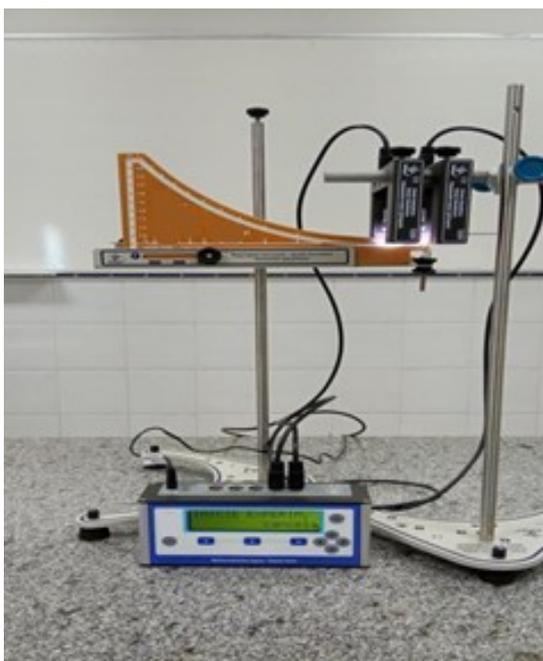
Como o fenômeno observado (velocidade de lançamento de uma esfera) estava sendo analisado por modelos teóricos diferentes, os valores dessas velocidades deveriam convergir. O intuito desta abordagem foi verificar se os estudantes conseguiam perceber que o modelo teórico que descreve a conservação da energia do sistema não estava levando em conta uma característica do movimento observado: a energia cinética rotacional da esfera. O professor procurava não trazer à tona essa informação de modo a não induzir os debates entre os estudantes, porque o objetivo era que, entre eles, alguns pudessem levantar essa afirmação. Esta discussão podia ser aproveitada para debater que no âmbito das ciências naturais (em especial na física) os modelos matemáticos propostos descrevem os fenômenos observados dentro de uma certa precisão. A partir dessa discussão, o debate foi retomando com os estudantes acerca da propagação das incertezas instrumentais para as grandezas medidas indiretamente (estudadas ao longo do curso). No roteiro utilizado para guiar a execução do experimento foi solicitado para que os estudantes calculassem as incertezas propagadas para cada uma das velocidades medidas e que eles efetivassem a comparação entre o erro absoluto e as incertezas (Anexo 1).

O propósito almejado pelo professor com essa comparação foi que surgisse, partindo das articulações de raciocínio entre os estudantes, a noção de que era necessário realizar o dimensionamento das incertezas experimentais. Isso porque, se o erro absoluto fosse maior do que a incerteza propagada: podia-se afirmar que as causas da diferença entre os resultados não eram responsabilidade dos

instrumentos utilizados (como comumente é atribuído quando há grandes divergências).

Após essa etapa, em uma aula posterior, os estudantes iniciaram a atividade experimental com o professor retomando brevemente o conteúdo sobre a energia cinética de rotação. Essa introdução subsidiou a atividade em que os estudantes deveriam comparar o valor da velocidade considerando a energia cinética de rotação, $v = \sqrt{\frac{10}{7}gh}$, com o valor calculado a partir da equação que define a velocidade escalar $v = x/t$. Neste caso, o arranjo experimental contava com sensores ópticos e requeria medidas diferenciadas em relação à primeira etapa, ou seja, a medida da distância percorrida pela esfera entre os sensores e o tempo gasto para percorrer essa distância.

Figura 6: Arranjo experimental da etapa 2.



Fonte: Autoria própria.

No que diz respeito ao arranjo experimental usado nesta etapa, o professor precisou realizar uma adaptação usando os acessórios pertencentes a dois kits do laboratório: um sendo o lançador horizontal e o outro um multicronômetro acionado por sensores ópticos, já que o objetivo, como mencionado, foi mensurar indiretamente a velocidade de lançamento da esfera por meio de sensores ópticos e comparar com a previsão do modelo teórico que levava em conta a energia rotacional da esfera. Chegando ao laboratório, os estudantes já se deparavam com

o aparato montado e o professor iniciava a atividade explorando os tópicos do roteiro que orienta a execução do experimento (Anexo 2). De maneira análoga ao procedimento executado na etapa anterior, os estudantes selecionavam a posição (altura h) em que a esfera seria largada e calculavam a estimativa da velocidade de lançamento.

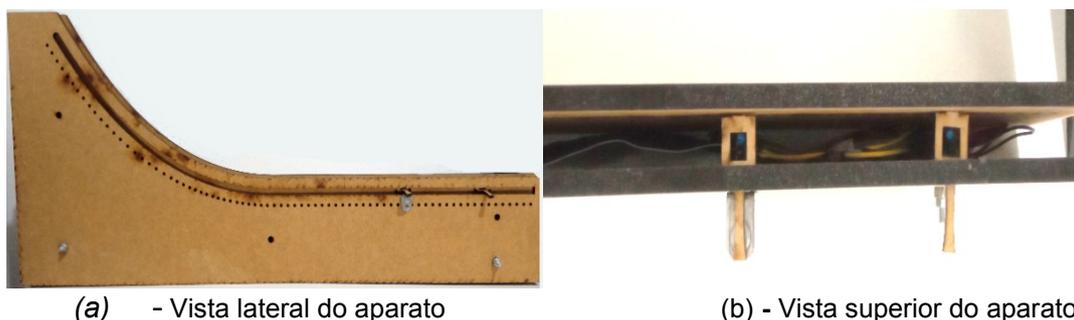
Atividade experimental executada com o aparato construído

Na terceira etapa, realizada em outra aula, o arranjo experimental utilizado era composto pelo aparato construído pelo professor e automatizado com placa arduíno. A proposta desta prática teve como perspectiva criar condições para que os estudantes pudessem refletir mais detidamente sobre a importância do dimensionamento das incertezas instrumentais e que os possibilitasse, partindo da interpretação dessas grandezas, a refletir sobre outra maneira estratégica de executar o procedimento experimental. Para tanto, os estudantes foram solicitados a intervir no processo de calibração do arranjo experimental. Além da assistência do professor, os estudantes foram orientados também por um roteiro (Anexo 3).

A proposta da abordagem didática desta etapa, teve o objetivo de ser o caminho pelo qual os estudantes pudessem fazer a travessia entre as duas margens que delimitam o *continuum* Algoritmo/Heurístico – na denominação de Zabala (1999) ou Técnica/Estratégia – na denominação de Pozo e Crespo (2009), conduzindo-os das margens das ações mais algorítmicas-técnicas para as mais heurísticas-estratégicas.

Com o aparato montado (de acordo com a Figura 7), houve a explicação sobre a função de cada peça que o compunha, dando ênfase àquelas dedicadas ao registro do tempo que eram compostas pelos sensores infravermelhos.

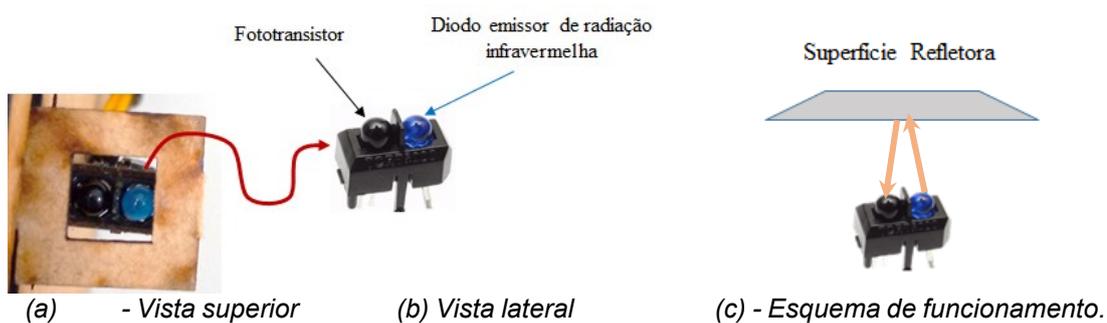
Figura 7: Arranjo experimental construído.



Fonte: Autoria própria.

O sensor infravermelho (TCRT 5000), como ilustrado na Figura 8b, é composto por um diodo emissor de radiação infravermelha e por um fototransistor acoplados em uma armadura de plástico. O funcionamento deste dispositivo é bastante simples: considerando que este já esteja conectado ao circuito elétrico auxiliar (Figura 9), no instante em que a radiação infravermelha emitida pelo diodo é refletida na direção do fototransistor por alguma superfície refletora disposta sobre o dispositivo (Figura 8c), a tensão elétrica sobre os terminais do fototransistor (TEF) diminui. Já quando a superfície refletora é retirada da proximidade do dispositivo a TEF volta ao valor que possuía antes. Este valor inicial para a TEF pode ser definido pelos estudantes.

Figura 8: Pontos de vista e esquema do funcionamento do sensor TCR 5000.

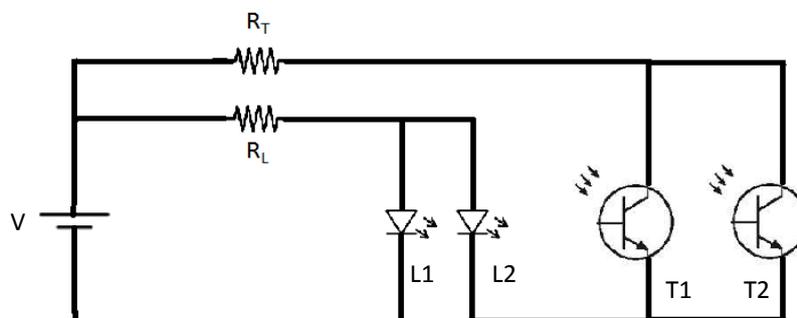


Fonte: Autoria própria.

Em seguida foi realizada uma breve exposição quanto à estrutura do circuito elétrico projetado no qual o sensor infravermelho estava conectado. Neste momento, foi apresentado os pontos do circuito por meio dos quais seria possível

realizar o monitoramento da tensão. A Figura 9 representa o esquema do circuito elétrico auxiliar projetado para executar o registro do tempo.

Figura 9: Circuito elétrico auxiliar.



Fonte: Autoria própria.

A tensão elétrica podia ser medida sobre qualquer um dos resistores (R_T – Resistor em série com os fototransistores ou R_L – Resistor em série com os leds emissores de radiação infravermelha) e podia ser feita por meio de um voltímetro digital construído com a mesma placa arduino utilizando uma das suas portas analógicas (entre A0 e A1) como ilustrado pela Figura 4. Quando não havia radiação infravermelha incidindo sobre o fototransistor, a tensão elétrica sobre este era máxima, de modo que a tensão elétrica sobre R_T era mínima e quando ocorria a situação inversa a tensão elétrica sobre R_T era máxima. A fonte de tensão contínua (um dos pinos de saída do arduino) usada possuía um valor de cinco volts, os resistores conectados aos fototransistores e aos LEDs infravermelhos possuíam, respectivamente, os seguintes valores: $R_T = 10\text{ K}\Omega$ e $R_L = 300\ \Omega$.

O arduino foi programado para monitorar a tensão elétrica sobre R_T , desse modo, quando a tensão sobre esse dispositivo fosse máxima: era iniciada a contagem do tempo em que a tensão permanece neste valor. Quando a tensão elétrica sobre R_T fosse mínima, então, a contagem do tempo era interrompida e registrada pelo microcontrolador. Portanto, da forma como foi descrito o processo, estávamos medindo o tempo em que a superfície da esfera estava refletindo o feixe de radiação. Isso significa que estávamos medindo o tempo que a esfera rolava sobre o comprimento da armadura do sensor. Essa maneira de registrar o tempo foi útil para a situação em que estamos interessados em ilustrar o conceito de velocidade pontual, ou seja, cada vez mais que procurássemos diminuir o intervalo

de tempo estaríamos nos aproximando de tal grandeza. Neste ponto era discutido sobre as limitações do processo experimental com relação a atender todas as prerrogativas dos modelos teóricos. A outra forma de registrar o tempo foi usando os dois sensores infravermelhos, valendo-se do mecanismo que foram descritos acima acerca da maneira como o tempo era registrado, os dois sensores foram posicionados com uma distância entre estes e o tempo que a esfera gastava para percorrer essa distância era registrada pelo microcontrolador.

Em seguida, foi apresentada aos estudantes as linhas de comando do algoritmo que realiza o gerenciamento da coleta dos dados obtidos pelos sensores. A partir desse ponto, o professor passava a assessorá-los na ação de refletir sobre o parâmetro elétrico que deveria ser monitorado pelo microcontrolador que compunha a placa arduíno. Tal parâmetro, como descrevemos anteriormente, era a tensão elétrica sobre a TEF. Em seguida, os estudantes monitoravam o valor da TEF no momento em que a esfera passava sobre o sensor (máxima refletância) e quando esta estava fora da área na qual ocorria a reflexão da radiação infravermelha emitida pelo LED (reflectância zero). Tais valores foram implementados como parâmetros no algoritmo responsável para iniciar e parar a contagem do tempo que a esfera gastava para percorrer a distância entre os dois sensores, e esta mesma distância foi outro parâmetro que deveria ser medido e implementado pelos estudantes às linhas de comando do algoritmo.

Para realizar o tratamento estatístico dos dados coletados foi escolhido o *software* excel. Por meio da comunicação serial entre esse *software* e a placa arduíno foi possível executar a análise estatística de maneira síncrona com a coleta dos dados. Há uma interface que realiza tal comunicação serial e que é de fácil acesso e completamente gratuito chamada PLX-DAQ, escrita em linguagem VBA. O *layout* da planilha utilizada para a análise estatística dos dados está exposto na Figura 10.

Figura 10: Layout da área de trabalho da planilha usada para a análise dos dados.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2	Velocidade (cm/s)	Eabs	E%					Distância entre os Sensores			Aceleração Local da Gravidade		
3	37,2549	0,1426	0,4%		Média	Desv Pad		x (Cm) = 7,600			g (cm/s ²)= 979		
4	37,2549	0,1426	0,4%		36,7800	0,69							
5	37,2549	0,1426	0,4%										
6	37,2549	0,1426	0,4%		Altura Escolhida			Diâmetro da Esfera					
7	37,2549	0,1426	0,4%		h (cm) = 1,00			d (cm) = 5,35					
8	37,0732	0,3243	0,9%		Δh (cm) = 0,535								
9	35,8491	1,5484	4,1%		Velocidade Prevista								
10	35,8491	1,5484	4,1%		V (cm/s) = 37,40								
11	35,6808	1,7167	4,6%		Δv (cm/s) = 7,00								
12	37,0732	0,3243	0,9%										
13													
14					Eabs (cm/s) = 0,6175								
15					Erro % = 1,65%								

Fonte: Autoria própria.

A planilha acima mostra o conjunto dos resultados obtidos pelos estudantes para uma quantidade de dez repetições feitas do experimento. Reforçamos que devido à automatização implementada para a coleta e análise dos dados foi possível dedicar maior tempo tanto para explorar os momentos descritos anteriormente quanto às discussões acerca dos resultados obtidos.

Vamos agora explorar as informações expostas na planilha no sentido de deixar mais claro a forma como a atividade foi conduzida para que os estudantes sedimentassem o pensamento estratégico com base nos resultados obtidos. Na coluna *A* encontra-se o valor da velocidade calculada com base nas informações da distância entre os sensores e do tempo que a esfera gasta para percorrer essa distância, ressaltando novamente que esses dados são obtidos sincronicamente em cada repetição. Nas colunas *B* e *C* estão expostos, respectivamente, os valores dos erros absoluto e percentual associados ao processo experimental. Esses valores foram calculados para cada velocidade medida em relação ao valor previsto pelo modelo teórico. Nas células destacadas em amarelo estão expostos o valor médio da velocidade e o valor da dispersão dessa grandeza que foi calculada por meio do desvio padrão. Nas células destacadas com a cor marrom claro encontram-se os valores da altura na qual a esfera foi largada e sua respectiva incerteza (células *F7* e *F8*). Em seguida (células *F11* e *F12*) encontram-se os valores da velocidade prevista pelo modelo teórico e a incerteza associada a esta grandeza. Nas células destacadas em laranja claro estão os valores dos erros absoluto e percentual da velocidade medida em relação à prevista. A informação referente à distância entre os sensores está na célula *I4* e podia ser modificada pelos estudantes caso eles decidissem realizar tal ação no aparato construído. Caso a

esfera fosse modificada, a célula *L7* foi dedicada para receber tal informação. A aceleração local da gravidade podia ser digitada na célula *L4*. O painel azul representa a interface de controle da comunicação serial entre a placa arduino e a planilha. Por meio dessa interface, o usuário podia definir a porta serial (USB) na qual a placa estava conectada, limpar os dados coletados, pausar a coleta ou aplicar um *reset* à placa.

Após os dados serem coletados e armazenados nas células da planilha, foi solicitado para que os estudantes comparassem os valores do erro e das incertezas experimentais e expressassem suas conclusões sobre esses resultados. De maneira a suscitar ainda mais as discussões, foi pedido para que eles alterassem o valor do diâmetro da esfera e verificassem o resultado sobre os valores das incertezas.

Capítulo V: Referencial Teórico

Neste capítulo traremos para a discussão a caracterização dos conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais da aprendizagem e, com o objetivo voltado em sedimentar o alicerce teórico sobre o qual foi construída a estrutura deste trabalho, faremos uma imersão mais profunda no âmbito dos conteúdos procedimentais. Além disso, apresentaremos uma visão panorâmica de trabalhos que tiveram como objeto de pesquisa o laboratório didático com o propósito de possibilitar uma melhor compreensão acerca das características e funções que são atribuídas a esse ambiente de aprendizagem. Finalizando o capítulo, discutiremos um pouco acerca do problema recorrente na prática laboratorial que diz respeito à pouca atenção dada pelos estudantes em expressar as grandezas físicas medidas em conjunto com suas respectivas incertezas.

Conteúdos atitudinais, conceituais e procedimentais

Antes de apresentarmos as definições dos tipos de conteúdos de aprendizagem, é bastante pertinente que venhamos ressaltar que pelo fato de estarmos dando ênfase à aprendizagem dos conteúdos procedimentais, não significa de forma alguma que estamos considerando que esses conteúdos possam ser desenvolvidos de maneira independente dos conteúdos conceituais e atitudinais. Isso porque, de acordo com Zabala (1999), com base na constatação de que quando estamos aprendendo algo, há sempre as componentes conceituais, procedimentais e atitudinais envolvidas. Além disso, “[...] se queremos que o que se aprende tenha sentido para o aprendiz, deve estar bem relacionado com todos os componentes que intervêm e que o tornam compreensível e funcional.” (ZABALA, 1999, p. 9).

No sentido de esclarecer mais um pouco a maneira como estamos tratando este tema, vamos nos valer da seguinte metáfora: consideremos que algum assunto que se deseja que o estudante aprenda seja uma fonte de luz branca. Sabemos que esse tipo de luz é composto por todos os comprimentos de onda do espectro visível e que são emitidos em conjunto pela fonte. Porém, o observador pode colocar filtros que permitam apenas a passagem de determinados comprimentos de onda selecionados por ele. Interpor o filtro entre a fonte de luz e o observador não invalida o fato pacífico de que os outros comprimentos de onda

estão sendo emitidos pela fonte. Significa apenas que o observador elegeu uma perspectiva para analisar o fenômeno. Destarte, é dessa forma que estamos desenvolvendo esta pesquisa, entre o fenômeno da aprendizagem do dimensionamento das incertezas instrumentais e o pesquisador está sendo colocado o “filtro” dos conteúdos procedimentais para a sua análise e que essa ação não significa que estamos desconsiderando o fato de que os outros conteúdos estejam intrinsecamente ligados ao processo de aprendizagem observado.

Conteúdos atitudinais

Com base nos estudos de Pozo e Crespo (2009) sabemos que durante o processo de aprendizagem é possível desenvolver três tipos de conteúdos: conceitual, procedimental e atitudinal. Com respeito ao aspecto atitudinal, segundo os mesmos autores, há três componentes que o constituem: o componente comportamental que se refere às atitudes propriamente ditas; o cognitivo que diz respeito ao conhecimento das normas e o afetivo que está relacionado à internalização dos valores.

Dentre as três dimensões da aprendizagem apresentadas, a dimensão das atitudes é a que se dá de forma mais implícita. De acordo com Pozo e Crespo (2009), ainda que haja a possibilidade de se ensinar e aprender - da perspectiva cognitiva - as atitudes e as normas, esses conteúdos não são aprendidos da mesma forma como os demais. Um dos fundamentos que pode explicar essa característica, surge do fato que a abordagem desse tipo de conteúdo não está vinculada à execução de algum programa preestabelecido: não dá para planejar que em um mês, por exemplo, o professor tenha que trabalhar em suas aulas sobre solidariedade e que depois ele venha a lecionar sobre a tolerância.

O mecanismo da modelagem é aquele que é mais posto em movimento na dinâmica da aprendizagem dos conteúdos atitudinais. Tais conteúdos estão imersos no cotidiano da sala de aula e indelevelmente imbricados ao comportamento do professor. Este por sua vez torna-se muitas vezes, seja de forma deliberada ou não, uma das fontes de referência na qual é ancorada o processo de modelagem das atitudes dos alunos. Por exemplo: observando as atitudes do professor com relação a forma como ele encara a função do laboratório didático no ensino de física - que poderia ser como um ambiente que serve apenas

ao propósito de assessorar a disciplina teórica ou seja, que o laboratório desempenhe um papel secundário; ou como um local em que há a possibilidade de desenvolver uma perspectiva mais epistemológica da ciência como apresentado no trabalho de (MACEDO, 2013) -, o aluno pode vir a modelar suas atitudes em consonância às do professor e, por conseguinte, a maneira como ele irá agir frente às atividades experimentais terá como um dos fundamentos a atitude emulada.

Vamos levar em conta o cenário no qual o professor cultiva a percepção de que o laboratório didático tenha como atributo principal apenas a exploração experimental dos conteúdos estudados em sala. Dentro desta maneira de encarar a função do laboratório didático, as atividades experimentais servem apenas ao propósito de verificar as previsões teóricas e pode conduzir os estudantes ao engendramento de uma perspectiva de que as disciplinas experimentais são coadjuvantes em relação às disciplinas teóricas. O trabalho desenvolvido por Macedo (2013), com base em respostas dadas por estudantes do curso de licenciatura em física com respeito aos objetivos do laboratório didático, a autora expõe como um dos seus resultados:

Dentre 07 objetivos, os mais elencados (em ordem decrescente) foram: discutir procedimentos experimentais; verificar/comprovar leis e teorias; facilitar a aprendizagem e compreensão de conceitos; e ensinar o método científico e habilidades práticas. (MACEDO, 2013, p. 99)

Vale a pena deixar claro que não estamos afirmando que a forma como os estudantes encaram o laboratório didático é fruto apenas da emulação das atitudes do professor frente aos objetivos das atividades experimentais. Estamos trazendo, com o exemplo apresentado, que tal emulação pode ser um dos fatores que pode contribuir para a perspectiva adotada pelos estudantes. Outro aspecto que vale a pena destacar também é que, embora a pesquisa desenvolvida pelo autor supracitado tenha sido com os estudantes de licenciatura em física, as mesmas perspectivas sobre o objetivo do laboratório didático apresentadas no excerto acima fazem parte dos estudantes focos desta pesquisa.

A relação entre as atitudes e a aprendizagem é fator de fundamental relevância e, com relação ao ensino de ciências, as atitudes dos alunos frente à aprendizagem de ciências muitas vezes são consideradas como um agente

dificultador. “Ainda que não sejam ensinadas de modo deliberado, ou talvez justamente porque não são ensinadas, as atitudes constituem uma das principais dificuldades para o ensino e aprendizagem das ciências.” (POZO; CRESPO, 2009, p. 30).

Conteúdos conceituais

Partindo da perspectiva de Pozo e Crespo (2009) o conteúdo conceitual pode ser dividido em três aspectos: os dados, os conceitos e os princípios. Dessa forma, segundo Falcomer, Guimarães e Silva (2017, p. 2) “os dados são informações que podem ser aprendidos, mas para compreensão de um dado é necessário interpretar e dar sentido por meio dos conceitos. Volpato, Aguiar e Reis enfatizam que de acordo com Coll et al. (1992) essa dimensão do conhecimento deve responder à questão: “O que se deve saber?”.

De modo a explorar a definição apresentada no parágrafo anterior para explicar os conteúdos conceituais vamos considerar, por exemplo, o fato corriqueiro do uso de uma balança (vamos considerar uma balança tradicional de dois pratos). A informação aprendida é de que os objetos podem ter sua massa determinada por meio da comparação entre sua massa com a de um corpo tomado como padrão. Embora a função da balança seja de medir a massa de objetos que são postos sobre esta, é bastante comum observarmos que uma boa parcela da população considera que massa e peso sejam grandezas equivalentes. No sentido de proporcionar a compreensão de que essas duas grandezas estão correlacionadas, mas que são essencialmente diferentes, é preciso recorrer aos conceitos para atribuir-lhes sentido e aos princípios ou às leis para exprimir a correlação entre elas.

A massa pode ser entendida como a medida da quantidade de matéria dos corpos. Do ponto de vista da mecânica, ela ainda pode ser associada à medida da resistência que os objetos oferecem à mudança ao seu estado de movimento. Já o peso pode ser definido como a força de interação, de natureza gravitacional, entre dois corpos em que um destes possui massa significativamente maior do que a do outro. A correlação entre essas duas grandezas dá-se por meio da definição de força na qual possui o conceito de massa intrínseco e que é expressa matematicamente através da Segunda Lei de Newton.

Embora que tenhamos que recorrer aos conceitos para que se possa atribuir sentido aos dados ou informações, como exposto anteriormente, é preciso salientar que o aprendizado tanto do conceito quanto dos dados (fatos) se dá por processos diferentes segundo Pozo (2002). Com respeito à primeira, poderíamos caracterizá-la como sendo predominantemente binária, ou seja, não é admitido níveis de aprendizado. “[...] a aprendizagem de fatos ou de dados é um processo que não admite graus intermediários; se não se produzem as condições adequadas (de motivação, prática e quantidade restrita de material) não se aprende.” (POZO, 2002, p. 211). Já o aprendizado de conceitos pode haver um gradiente de níveis.

De acordo com o mesmo autor, “os limites da aprendizagem associativa de informação arbitrária, fatos e dados, são percebidos claramente se compararmos essa aprendizagem com a compreensão de conceitos” (POZO, 2002, p. 210), como exposto no quadro 2.

Quadro 2: Comparação entre a aprendizagem de conceito e de informação.

	Informação Verbal	Conceitos
Consiste em	Cópia literal	Relação com conhecimentos anteriores
Aprende-se	Por repetição (apr. repetitiva)	Por compreensão (apr. significativa)
Adquire-se	De uma vez	Gradualmente
Avalia-se	Tudo ou nada	Admite muitos níveis intermediários
Esquece-se	Rapidamente sem repetição	Mais lenta e gradual

Fonte: POZO, 2002, p. 210.

Para ilustrar essa diferença entre a aprendizagem de informação e de conceitos podemos considerar o seguinte exemplo: a informação de que uma onda eletromagnética não necessita de um meio para se propagar pode ser aprendida por meio do processo de repetição e a avaliação quanto à sua aprendizagem só possui duas alternativas (sabe ou não sabe). Já o aprendizado dos conceitos, por meio dos quais é atribuído significado à informação (dado ou fato), pode ocorrer gradualmente. Isso porque, neste caso, o aprendiz irá estudar os conceitos de campo elétrico e magnético, as leis de Faraday e Ampère e tais conceitos podem ser abordados a partir de uma linguagem pertinente a um curso de física básica até

um curso mais avançado, por exemplo, da perspectiva da Teoria Clássica de Campos.

Conteúdos procedimentais

Vamos retomar a metáfora utilizada sobre os filtros interpostos entre uma fonte de luz branca e o observador no início do capítulo e estendê-la um pouco mais. Quando um filtro espectral é interposto entre a fonte de luz branca e o pesquisador, esse delimita uma banda espectral para a observação. Vamos imaginar que o pesquisador escolha um filtro que permita a passagem de comprimentos de onda contidos na banda espectral delimitada pelos comprimentos de onda que inicia em 495 nm e termina em 570 nm. Todos os matizes da cor verde estão contidos nesse intervalo de comprimento de onda definindo um *continuum* de modo que o pesquisador pode realizar uma análise mais detalhada sobre este. Tendo essa imagem em mente, o que faremos nesta seção é ampliar a observação sobre os conteúdos procedimentais (que foi o filtro escolhido para a análise), e discutiremos sobre os matizes que compõem esse espectro e os classificaremos de acordo com suas características mais marcantes.

Posto dessa forma, retomando a definição dada por alguns autores aos conteúdos procedimentais, podemos destacar que esses são “[...] sequências de ações dirigidas a atingir uma meta [...]” (COLL; VALLS, 1992 apud POZO; CRESPO, 2009, p. 49). É importante não confundir os conteúdos procedimentais com os atitudinais, frisando que esses últimos, de acordo com o que já foi discutido anteriormente, dizem respeito aos valores, atitudes e normas. Considerando que possamos definir em poucas palavras os conteúdos procedimentais, é possível exprimi-los por meio da locução: “saber fazer” (ZABALA, 1999, p. 10).

Retomando o exemplo da seção anterior, a habilidade de mostrar que a relação entre massa e peso é expressa por $p = mg$ é um tipo conteúdo procedimental. Para que o estudante possa demonstrar matematicamente tal relação, é necessário a execução de protocolos algébricos e que, associado a essa ação, também há o componente conceitual envolvido que igualmente oferece subsídios para que o processo de dedução seja realizado.

Os conteúdos procedimentais possuem alguns atributos e são classificados, segundo Pozo e Crespo (2009, p. 59), da seguinte forma:

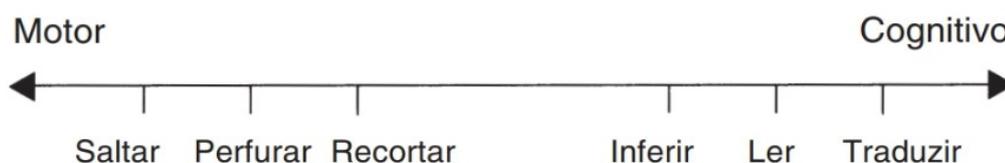
- I - Aquisição de informação: Observação, seleção de informação, busca e captação da informação, revisão e memorização da informação;
- II - Interpretação da informação: Decodificação ou tradução da informação, uso de modelos para interpretar situações;
- III - Análise da informação e realização de inferências: análise e comparação da informação, estratégias de raciocínio, atividades de investigação ou solução de problemas;
- IV - Compreensão e organização conceitual da informação: compreensão do discurso escrito ou oral, estabelecimento de relações conceituais, organização conceitual;
- V - Comunicação da informação: expressão oral, expressão escrita e outros tipos de expressão.

Para ampliar mais um pouco a compreensão sobre os conteúdos procedimentais deixamos a descrição de Volpato, Aguiar e Reis:

A dimensão procedimental é caracterizada pelas habilidades e estratégias utilizadas na aprendizagem que constituem o saber necessário para a resolução de problemas (ECHEVERRÍA; POZO, 1994). Nessa perspectiva, o estudante não acata respostas prontas, mas é levado a argumentar e exercitar sua razão na construção do conhecimento. (VOLPATO; AGUIAR; REIS, 2017)

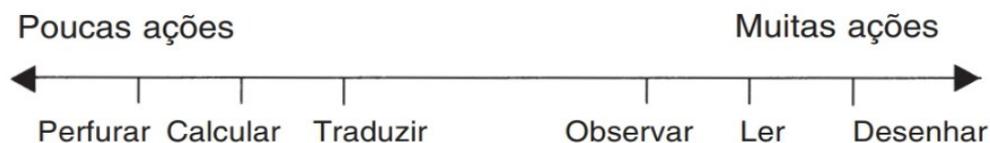
Os conteúdos procedimentais possuem matizes bastante sutis e que se sobrepõem entre si de tal forma que se torna impraticável defini-los em termos rígidos e classificá-los em uma sequência ordinal. Frente a esse aspecto, Zabala (1999) sugere caracterizá-los em três grandes grupos de modo que tais conteúdos passam a ser distribuídos sobre um *continuum*. Este é representado graficamente por uma reta contínua sobre a qual estão localizadas em suas extremidades as vertentes mais proeminentes dos conteúdos procedimentais. Neste sentido, o autor apresenta os *continuum*: motor/cognitivo; poucas ações/muitas ações e algoritmo/heurístico.

Figura 11: Representação gráfica do continuum Motor/Cognitivo.



Fonte: Zabala (1999, p. 12)

Figura 12: Representação gráfica do continuum Poucas Ações/Muitas Ações.

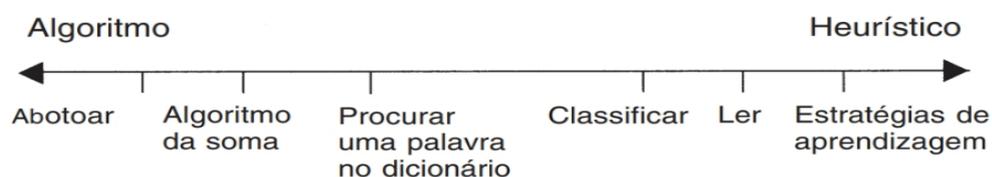


Fonte: Zabala (1999, p. 12).

Pelo fato de serem bastante sutis as características que diferenciam os tipos de conteúdos procedimentais, a sua classificação pode variar de acordo com o enfoque elegido por cada autor. Dessa forma, as definições e os termos apresentados aqui podem ser bastante diversos em relação aos adotados em outras literaturas especializadas no tema. Vale destacar ainda que, no âmbito das definições escolhidas para a classificação dos conteúdos procedimentais neste trabalho, “qualquer conteúdo procedimental pode situar-se em algum lugar desses três *continuum*, mas é difícil estabelecer o limite entre uns conteúdos e outros.” (ZABALA, 1999, p. 13).

Com respeito aos aspectos dos conteúdos procedimentais investigados no âmbito dos laboratórios didáticos de física, vamos analisá-los por meio dos atributos que definem o *continuum* algoritmo/heurístico (Figura 13). Portanto, daremos um tratamento mais detalhado com respeito às características que compõem esse *continuum*.

Figura 13: Representação gráfica do *continuum* Algoritmo/Heurístico.



Fonte: Zabala (1999, p. 13).

O escalonamento do grau de ordenação na execução das ações em uma atividade é que define o *continuum* algoritmo/heurístico. Em um extremo encontra-se o conjunto de ações que possuem a mesma sequência de efetuação (mais algorítmico), enquanto no outro extremo situa-se aquele em que as ações para

serem levadas a efeito, ou até mesmo organizá-las, é necessário saber o contexto no qual devem ser aplicados (mais heurístico). Em outras palavras, esse outro extremo está mais ligado ao aspecto do pensamento estratégico, segundo Zabala (1999). Já na perspectiva de Pozo e Crespo (2009), os conteúdos procedimentais podem ser classificados, semelhante à caracterização dada por Zabala (1999), por meio de um *continuum* (Quadro 3) que partem das ações mais técnicas para aquelas de dimensão mais estratégica. “De fato, os diferentes tipos de procedimentos podem ser situados ao longo de um *continuum* de generalidade e complexidade que iria das simples técnicas e destrezas até as estratégias de aprendizagem e raciocínio.” (POZO; CRESPO, 2009, p. 49).

Quadro 3: Representação dos *continuums* na concepção de Pozo e Crespo.

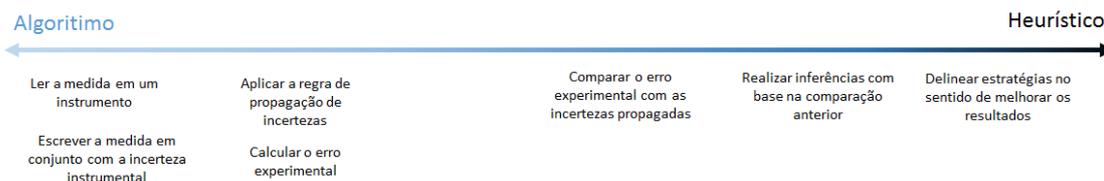
Tipos de conteúdos	Mais específicos	← →	Mais gerais
Conceituais	Fatos/dados	Conceitos	Princípios
Procedimentais	Técnicas		Estratégias
Atitudinais	Atitudes	Normas	Valores

Fonte: Pozo e Crespo (2009, p. 28).

Para esses autores, a técnica pode ser definida como um conjunto de ações automatizadas pela prática repetida, enquanto que a estratégia possui o atributo de encerrar as ações de planejamento e de tomada de decisões acerca das etapas futuras a serem seguidas em uma atividade.

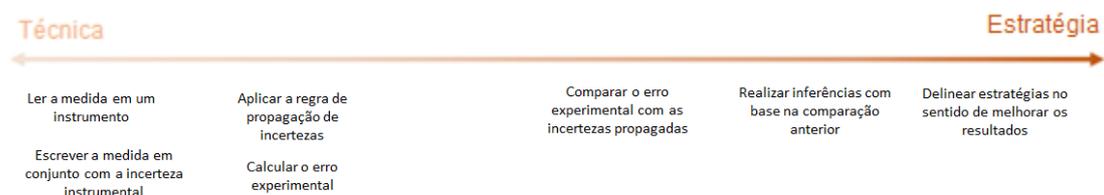
Na Figura 14 é apresentada uma adaptação da representação gráfica do *continuum* algoritmo/heurístico proposto por Zabala (1999), enquanto na Figura 15, tomando como modelo a representação feita por Zabala, está exposta a do *continuum* técnica/estratégia na perspectiva de Pozo e Crespo (2009). Nestas representações cada uma das retas apresenta um gradiente nas suas respectivas cores com o intuito de tornar mais enfática a característica de que não há fronteiras abruptas que delimitam um tipo de conteúdo procedimental de outro. Além disso foram escalonadas, para efeito de exemplo, algumas ações realizadas nas atividades práticas num laboratório didático de física.

Figura 14: Representação gráfica do *continuum* Algoritmo/Heurístico.



Fonte: Autoria própria. Adaptado de Zabala (1999, p. 13).

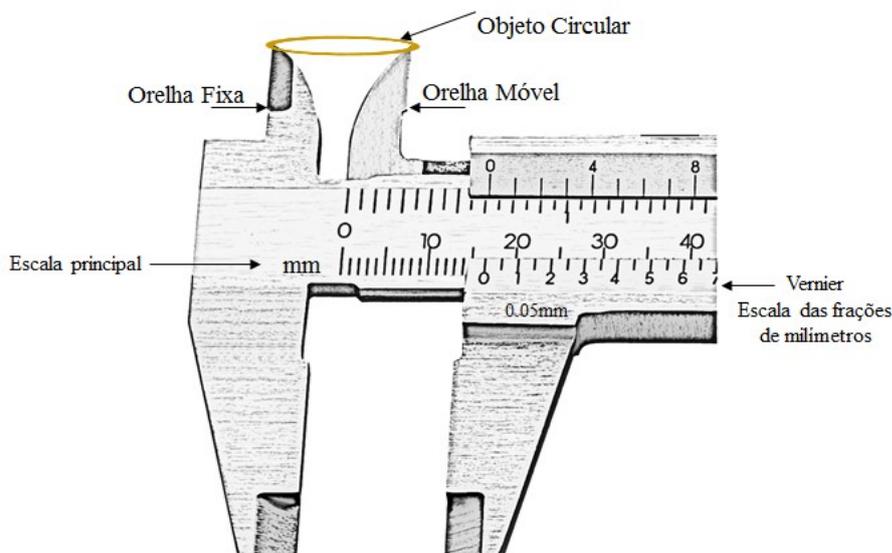
Figura 15: Representação gráfica do *continuum* Técnica/Estratégia.



Fonte: Autoria própria. Adaptado de Zabala (1999) para representar a definição de Pozo e Crespo (2009, p. 49).

O processo de mensurar uma grandeza física possui uma sequência de ações que encerram traços de natureza bastante algorítmica. Consideremos, por exemplo, a ação de medir o diâmetro interno de objetos circulares (ver Figura 16) com o uso de um paquímetro – considere que seja selecionado a escala milimetrada para realizar a leitura da medida - e que, partindo dessa informação, busque-se calcular a área delimitada pela circunferência e a sua respectiva incerteza.

Figura 16: Ilustração da medida do diâmetro interno de um objeto circular.



Fonte: Autoria própria.

Para alcançar tal intento é necessário executar a seguinte sequência de ações: fazer a aferição do ponto zero do instrumento; ajustar as “orelhas” fixa e móvel ao contorno do objeto; observar em que ponto da escala principal (que marca os valores inteiros de milímetros) do instrumento o traço que demarca o zero da escala do *vernier* (que indica as frações de milímetro) é interceptada; somar os valores inteiros de milímetros da escala principal com a fração de milímetro observada no *vernier*; escrever o resultado da medida em conjunto com a incerteza do instrumento; calcular a área interna do objeto; aplicar a regra de propagação de incertezas à área interna; escrever o resultado obtido em conjunto com a incerteza calculada. Com exceção do primeiro passo que só necessita ser executado uma vez (mas que nada impede que possa ser repetido), todos os outros que o sucedem devem ser seguidos na mesma sequência para cada um dos objetos medidos. Portanto, em termos do *continuum* técnica/estratégia, percebemos de forma nítida que tais procedimentos vinculam-se mais fortemente às ações de natureza técnica.

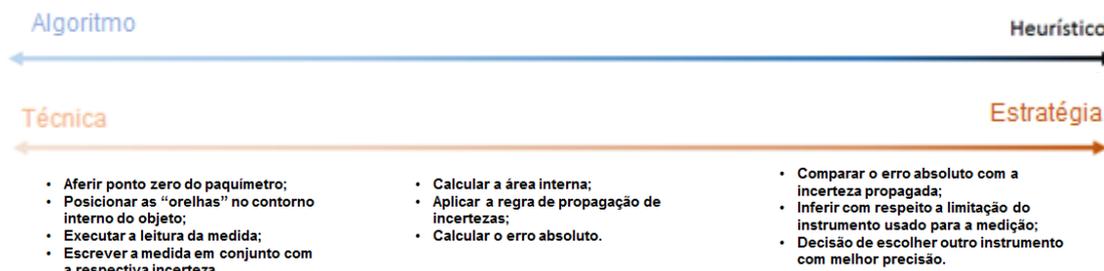
No sentido de ampliar um pouco mais o entendimento a respeito dos *continuum* sobre análise, consideremos agora que os experimentalistas estivessem de posse da informação – fornecida pelos fabricantes dos objetos - sobre o valor “correto” da área delimitada pela circunferência dos objetos medidos. Dessa forma, é possível comparar os valores de referência e o medido e calcular o erro de

medição que o processo de mensuramento foi acometido, ou dito em outros termos, pode-se obter uma estimativa da acurácia também conhecida como exatidão de medição (VIM, 2012). Contudo, vale ressaltar que, embora a acurácia esteja relacionada com o erro de medição, esses dois parâmetros não são equivalentes. De fato,

A “exatidão de medição” não é uma grandeza e não lhe é atribuído um valor numérico. Uma medição é dita mais exata quando fornece um erro de medição menor. (VIM, 2012, p. 20)

Com base na comparação entre os valores absolutos do erro e das incertezas propagadas torna-se viável a ação de realizar inferências acerca do processo de medição e tomar decisões alicerçadas nessa ação. Com a intenção de tornar mais clara essas últimas ações, vamos simular o cenário em que a incerteza instrumental propagada seja maior do que o erro calculado. Somos conduzidos a concluir que o principal agente que contribuiu para o erro experimental obtido foi o instrumento utilizado e, partindo dessa premissa, pode-se deduzir que haja a possibilidade de que o instrumento não esteja operando da mesma forma quando foi calibrado (aumento do atrito entre a escala do *vernier* e a principal e/ou afrouxamento das suas partes móveis. Outra conclusão que se pode chegar é que a resolução do paquímetro empregado para realizar a medida não seja tão boa quanto a do instrumento utilizado pelo fabricante do objeto. Assim, a decisão plausível que pode ser tomada, com base nas inferências realizadas, é de buscar um instrumento em melhores condições ou com resolução melhor. Essas ações apresentam características proeminentemente heurísticas, na classificação utilizada por Zabala (1999), ou estratégica na apresentada por Pozo e Crespo (2009). Em termos dos *continuum* sugeridos pelos autores, podemos representar o exemplo descrito da seguinte maneira:

Figura 17: Representação do exemplo descrito por meio dos continuum.



Fonte: Autoria própria.

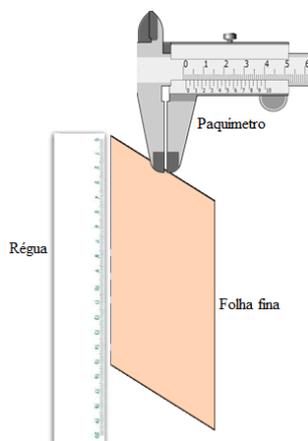
Dentro da dimensão procedimental da aprendizagem, Pozo e Crespo (2009) apontam algumas dificuldades neste tipo de aprendizagem para o caso dos problemas quantitativos:

Fracas generalização dos procedimentos adquiridos para outros contextos novos. Assim que o formato ou o conteúdo conceitual do problema muda, os alunos sentem-se incapazes de aplicar a essa nova situação os algoritmos aprendidos. O verdadeiro problema dos alunos é saber do que trata o problema (da regra de três, do equilíbrio químico, etc.). (POZO; CRESPO, 2009, p.17).

Essa é uma situação bastante comum e que é vivenciada no desenvolvimento de qualquer conteúdo no processo de ensino e, portanto, no que diz respeito às atividades experimentais, essas não ficam de fora desse problema. Vamos ilustrar esse problema nos valendo do seguinte exemplo: considere que um grupo de estudantes tenha realizado o cálculo da área de objetos circulares com diâmetros diferentes (como ilustrado na Figura 16) e que para cada objeto seja realizada uma única medida do diâmetro. Após realizarem esta atividade, o professor solicita aos estudantes para que eles calculem o volume de uma folha fina. Nesta circunstância é necessário utilizar dois instrumentos com resoluções diferentes já que uma das arestas do objeto (sua espessura) é fina o suficiente para que a avaliação da sua medida com uma régua milimetrada se torne inviável. A mudança de contexto neste exemplo refere-se tanto ao uso de dois instrumentos com resolução diferente quanto à aplicação das incertezas associadas às medidas diretas na regra de propagação de incertezas. O principal obstáculo enfrentado pelos estudantes refere-se à identificação de que a função que descreve o volume não é mais uma função de uma única variável em confronto com a que descrevia a

área delimitada pela circunferência na qual a única variável era o diâmetro, além de não conseguirem perceber que as diferenciais totais que acompanham cada derivada parcial referem-se às incertezas de cada um dos instrumentos.

Figura 18: Medida das arestas de uma folha fina.



Fonte: Autoria própria.

Continuando com a descrição de Pozo e Crespo (2009) sobre as dificuldades na aprendizagem dos conteúdos procedimentais, podemos destacar:

Fraco controle metacognitivo alcançado pelos alunos sobre seus próprios processos de solução. o trabalho fica reduzido à identificação do tipo de exercício e a seguir de forma algorítmica os passos que já foram seguidos em outros exercícios similares na busca da solução “correta” (normalmente única). O aluno olha somente para o processo algorítmico, está interessado apenas no resultado (que é o que geralmente é avaliado). Assim, a técnica impõe-se sobre a estratégia e o problema passa a ser um simples exercício rotineiro. (POZO; CRESPO, 2009, p.17).

Esse outro problema identificado pelos autores pode ser ilustrado retomando o exemplo citado anteriormente. Em tal exemplo, o cenário simulado foi de que a medição das arestas da folha fina foi realizada uma única vez. Vamos considerar agora que tenha sido solicitado para que cada estudante fizesse a medida das arestas e que mantivesse guardado o resultado das suas medições enquanto os outros componentes da turma finalizassem suas medidas. Cada estudante ao avaliar as frações de milímetros nas medidas das arestas - tanto por meio do paquímetro quanto da régua - pode obter valores diferentes referente ao algarismo duvidoso, em especial no caso da medida realizada com a régua cuja resolução

frente a do paquímetro gera uma incerteza maior. Portanto, as medidas das arestas estarão acometidas de uma variabilidade que pode ser medida através do cálculo do desvio padrão do valor médio. Dessa forma, a incerteza do processo de medida é uma combinação (incerteza padrão) das incertezas instrumental e estatística, ressaltando que esta última é dada pelo desvio padrão do valor médio. Porém, mesmo calculando cada uma das incertezas, ao aplicar na regra de propagação das incertezas o que é observado é a execução do procedimento para o caso de uma única medida: aplica-se na equação a incerteza do instrumento. Entretanto, ao calcular a média do volume e verificando que esta fica muito próxima do valor que se obteve anteriormente, quando foi realizado uma única medida, os estudantes consideram que obtiveram sucesso no processo de medição e a incerteza padrão é encarada apenas como parte do exercício cobrado pelo professor, não havendo nenhuma ação em compreender o que esta grandeza informa e como esta pode auxiliar numa tomada de decisão referente a melhorar o processo de medida.

Capítulo VI: Análise dos resultados e discussões

Partindo dos diálogos que apresentaremos mais adiante, faremos neste capítulo uma imersão na descrição das etapas do experimento executado e realizaremos um estudo dos resultados por meio da análise textual discursiva. As descrições que serão expostas fazem parte dos registros das aulas contidos num caderno de campo do professor como também do material audiovisual gravado nas aulas ministradas em duas turmas. Os registros contidos neste caderno têm sido uma atividade integrante do labor do professor cujo objetivo foi para que ele pudesse posteriormente consultá-los para analisar o procedimento dos estudantes na realização do experimento.

No que diz respeito à ferramenta de análise, vale destacar que a ação de agrupar as unidades de sentido de acordo com suas semelhanças semânticas é definida por Moraes e Galiuzzi (2011) como sendo o processo de categorização. Nesta perspectiva, partindo dos diálogos registrados, foram selecionadas as unidades de sentido - esse procedimento é conhecido como processo de unitarização de acordo com Moraes e Galiuzzi (2011) - e agrupadas em categorias. Vale salientar que, de acordo com os autores citados, no processo de unitarização não é necessário ficar circunscrito ao que está explicitamente escrito no texto, é possível construir unidades de sentido com base na interpretação do pesquisador a respeito do texto.

Em relação às categorias, essas foram construídas de acordo com a lente teórica escolhida para interpretar os dados coletados. Quando as categorias já são previamente definidas, fundamentadas em algum critério, que no nosso caso é o lastro teórico apresentado no capítulo V, essas são classificadas como categorias *a priori*. De fato, segundo Moraes e Galiuzzi (2011, p. 41), “quando se conhece de antemão os grandes temas da análise, as categorias *a priori*, basta separar as unidades [de sentido] de acordo com esses temas ou categorias”.

De acordo com que foi apresentado no capítulo anterior, as ações dos estudantes com respeito aos conteúdos procedimentais podem ser organizadas por meio de um *continuum* no qual em suas extremidades estão as atitudes mais técnicas/algóritmicas e no outro as mais heurísticas/estratégicas. Portanto, partindo

dessas definições, duas categorias *a priori* foram definidas como: “Ações algorítmicas” e “Ações heurísticas”. Por outro lado, com a imersão no processo de unitarização, e com a organização dos diálogos, fomos conduzidos a definir outra categoria que nomeamos de “ações silogísticas”. Estamos tomando aqui emprestado o termo silogismo e até certo ponto fazendo uma analogia com o seu conceito. Este foi definido por Aristóteles em uma das suas obras intitulada *Princípios Analíticos*. Vale destacar que para Aristóteles, silogismo é um conceito mais geral do que o de demonstração, esta última é um tipo de silogismo (OLIVEIRA, 2016). Dito de outra forma, toda demonstração é um tipo de silogismo, mas nem todo silogismo é uma demonstração. Ainda de acordo com autor supracitado, “[...] seguindo o vocabulário de Aristóteles, quando há uma inferência que decorre necessariamente de outras coisas estabelecidas anteriormente, ocorre uma conclusão silogística”. (OLIVEIRA, 2016, p. 52)

Apesar de termos estabelecido o conceito de silogismo, isso não quer dizer que temos o intuito de enveredar pelos meandros da filosofia. A razão desse tangenciamento ao conceito definido por Aristóteles foi o de tornar mais clara a nossa definição da categoria silogística. Portanto, no âmbito deste trabalho, definimos como ação silogística aquela em que o sujeito usa das premissas que lhe são fornecidas necessariamente pelo professor em aula (e/ou pelo roteiro) e que necessita de uma ação interpretativa para concluir seu raciocínio. Podemos localizar essas ações nos *continuums* Algoritmo/Heurístico ou Técnica/Estratégia em algum ponto do gradiente das ações situadas entre seus extremos.

Figura 19: Localização das ações silogísticas sobre os contiuums.

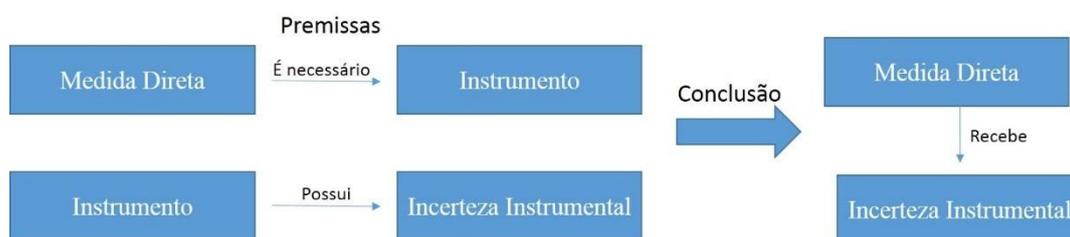


Fonte: Autoria própria.

O critério utilizado para a definição dessa nova categoria foi o entendimento de que o sujeito pode executar um processo dedutivo seguindo certo protocolo, sem necessariamente realizar interpretações, ou pode fazer esse mesmo processo por meio de movimentos cognitivos em que é preciso realizar reflexões e interpretações para poder estabelecer sua conclusão. O último exemplo do capítulo

anterior ilustra essa assertiva, entretanto, para reforçar um pouco mais os argumentos postos, vamos considerar uma das atividades práticas comumente realizadas nos laboratórios didáticos de física: o cálculo da aceleração local da gravidade através do movimento oscilatório de um pêndulo simples. Nesta atividade é preciso medir duas grandezas diretas: o comprimento do fio e o período de oscilação. Em geral, a medida do período é submetida a certo número de repetições. Nesse processo de mensuração podemos esquematizar algumas ações dedutivas como segue.

Figura 20: Esquema do processo dedutivo sem necessidade de interpretação para a medida do comprimento.

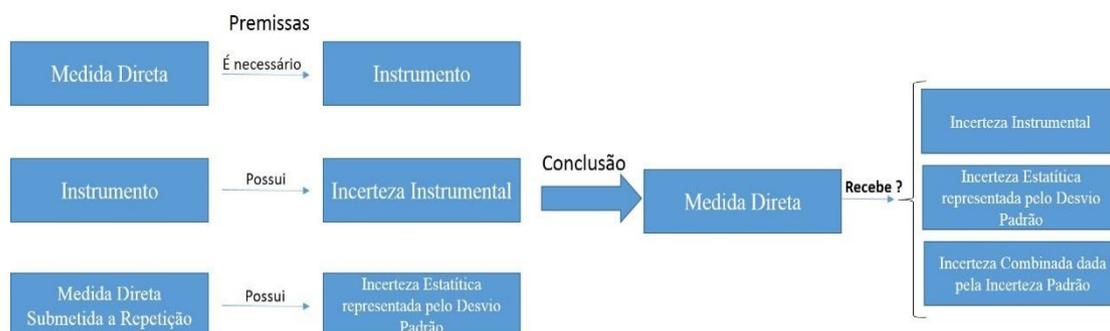


Fonte: Autoria própria.

O sujeito estando de posse das premissas, este pode executar o processo sem ter que desencadear uma ação interpretativa mais elaborada para concluir que é preciso escrever a incerteza instrumental associada à medida direta. Portanto, para o caso da grandeza direta do comprimento do fio, comumente sua mensuração é realizada uma única vez e por meio de algum instrumento de medida (régua, trena, fita métrica, etc).

Em contrapartida, há aquelas ações nas quais é necessário realizar um movimento interpretativo para concluir o raciocínio. No caso da medida do período, essa é submetida a certo número de repetições e, portanto, o sujeito precisa executar uma interpretação para tomar a decisão sobre qual incerteza associada deve ser escrita em conjunto com a medida do período. Neste caso não é apenas escrever de imediato a incerteza instrumental, é preciso avaliar a magnitude das incertezas instrumental e estatística, compará-las e tomar a decisão de qual incerteza (instrumental, estatística, combinada padrão) deve ser escrita em conjunto com a medida do período.

Figura 21: Esquema do processo dedutivo em que é necessário uma interpretação para a medida do período.



Fonte: Autoria própria.

Posto dessa forma, as ações que categorizamos como silogísticas são aquelas por meio das quais os estudantes elaboraram suas conclusões com base em um movimento interpretativo e partindo de premissas definidas – obrigatoriamente – pelo professor na aula ou pelo roteiro. A obrigatoriedade posta aqui é necessária porque pode haver raciocínios executados pelos estudantes que não é necessário o professor definir as premissas em aula, ou estas estarem contidas no roteiro. Outro ponto que precisa ser explicado é que as premissas devem ser postas na aula que está sendo ministrada. Se o estudante executar seu raciocínio dedutivo por meio de premissas provenientes de algum conhecimento anterior à aula em questão, então, esta ação não entra na categoria silogística. O argumento que justifica essa definição é que se o estudante utilizar de alguma premissa fora do âmbito da aula que está sendo ministrada, por conseguinte, o conhecimento que fundamenta suas premissas já faz parte do seu arcabouço teórico. Isso porque o nosso objetivo é compreender se os estudantes apenas estão se apoiando nas premissas do professor ou do roteiro.

Com respeito às unidades de sentido, essas foram definidas após termos arregimentado as falas dos estudantes com base nas semelhanças das ideias que essas expressavam. Vale destacar ainda que essas unidades podem, de acordo com Moraes e Galiuzzi (2011), serem distribuídas em mais de uma categoria. Posto dessa forma, definimos como “Execução de protocolos” aquelas ações em que os estudantes as realizaram pelo fato destas estarem sendo solicitadas pelo roteiro

(de atividades passadas ou da atual) ou pelo professor. Porém, tais ações têm a possibilidade de serem realizadas desde uma forma mecânica até uma maneira em que é preciso realizar um processo interpretativo. O exemplo exposto anteriormente ilustra esse tipo de ação. O cálculo e a escrita das incertezas é um protocolo solicitado pelo roteiro e muitas vezes reforçado pelo professor durante a execução experimental. Contudo, essas ações podem ser feitas de forma mais imediata (esquema da Figura 19) ou ter que interpretar o resultado e decidir sobre qual incerteza utilizar (esquema da Figura 20).

Com respeito à unidade de sentido “Erro atribuído ao instrumento e/ou procedimento” foi definida como sendo aquela que compõem as ações em que os estudantes atribuem ao arranjo experimental ou ao procedimento realizado como fazendo parte das causas para as divergências entre os resultados experimentais e os previstos. Essa atribuição pode ocorrer desde uma ausência de fundamentação que a sustente até a uma argumentação embasada na análise das incertezas instrumentais propagadas.

Já a unidade de sentido “Articulação entre o modelo teórico e execução experimental” diz respeito àquelas ações em que os estudantes utilizam dos processos de exploração e investigação tanto do modelo teórico, quanto do procedimento experimental e realiza um movimento de articulação de pensamentos entre as premissas teóricas e o que de fato foi executado na prática laboratorial. Essa articulação pode ser realizada de forma condicionada ou por meio de uma elaboração interpretativa mais intensa.

Elementos que marcaram as três etapas da execução do experimento

Com base nos registros realizados pelo professor, esta seção tem o intuito de apresentar alguns elementos que caracterizaram a maneira pela qual o experimento sobre o tema CEMR tem sido, usualmente, compreendido pelos estudantes nas aulas de laboratório.

De modo a preservar a identidade dos estudantes envolvidos na pesquisa, vamos referenciá-los por meio de nomes fictícios. As suas falas assim como as do professor nos diálogos ocorridos na aula serão codificadas seguindo a ordem pela qual estas surgirem no texto e pelo número da etapa da execução do experimento. Codificaremos por (F1E1, F1E2, F1E3..., etc), como sendo, respectivamente: Fala

1 da Etapa 1; Fala 1 da Etapa 2 e Fala 1 da Etapa 3. Essa codificação tem o propósito de facilitar a busca no corpo do texto pelo leitor quando as falas dos estudantes forem referenciadas ao longo do capítulo.

Relato da primeira etapa do experimento

O início de todas as atividades práticas sempre foi acompanhado de uma conversa com os estudantes sobre os experimentos realizados em aulas anteriores. Dando continuidade a sua práxis no desenvolvimento da atividade prática sobre os temas da conservação da energia mecânica e lançamento horizontal, o professor procurou destacar os principais elementos teóricos que fundamentaram o lançamento oblíquo. Neste sentido, ele lembrou aos estudantes as características do MRU e MRUV. Como de hábito, o professor, juntamente com os estudantes, esquadrinhou o arranjo experimental destinado à atividade da aula e iniciou um debate com eles sobre a função de cada elemento que compunha tal arranjo. Seu intuito era de que, através desta exploração e por meio do debate, a relação entre procedimento experimental e os critérios definidos pelos modelos teóricos fossem postos em comparação.

Neste processo de comparação tem sido comum perceber que os estudantes têm ficado curiosos sobre a função do prumo acoplado ao arranjo experimental (Figura 5a). Um dos estudantes (Mário) apontando para a borda superior do anteparo sobre o qual estava a folha de papel branco em que ficaria registrado o ponto de impacto da esfera, indagou para o professor:

Mário: Vou medir daqui? (F1E1)

Professor: Pode ser. (F2E1).

Todavia, apontando para a borda superior da folha de papel, Mário retrucou:

Mário: Gostaria de medir daqui [referindo-se à borda da folha].
Pode? (F3E1)

Professor: Pode ser, basta realizar o alinhamento do lançador.
(F4E1)

Frente ao olhar ensimesmado do Mário, e depois de certo tempo de reflexão feito por ele, o professor indicou o prumo e explicou que bastaria alinhá-lo com a borda superior da folha. Para explicar sobre o motivo desse alinhamento, o

professor retomou a discussão sobre o modelo teórico que estava sendo usado para a análise do experimento. Neste modelo o sistema de referência foi configurado para ter a sua origem no ponto no qual a esfera deixava o lançador. Dessa forma, a aresta do anteparo precisava estar alinhada com o ponto em que a esfera deixava o lançador (Figura 5a). Mário compreendeu o que o professor explicou e executou o alinhamento de acordo com o que havia questionado ao professor.

Após esse momento de exploração e discussão acerca do procedimento experimental, os estudantes iniciaram o experimento seguindo os procedimentos descritos no roteiro. Durante a execução de tais procedimentos, eles estiveram bastante atentos às medidas das grandezas solicitadas: buscando deixar bem alinhado o prumo com a aresta do anteparo, assim como fazer o ajuste do centro de massa da esfera com o ponto do lançador que define a altura na qual a esfera é largada. No decorrer da execução das medidas iniciais, surgiu uma dúvida sobre a medida do alcance, a qual seria realizada por meio do registro do ponto de colisão da esfera. Já que esse registro tinha a forma de um disco, muitos perguntaram se a medida do alcance deveria ser feita no centro da marca.

Lucas: Em que ponto vamos medir o alcance? Como a esfera deixa uma marca, vamos medir o alcance pelo centro desta marca? (F5E1)

Professor: Sim. Você consegue entender o motivo deste procedimento? (F6E1)

Emerson: Porque alinhamos o centro de massa da esfera ao ponto em que esta foi solta. (F7E1)

À primeira vista, parece bem evidente esse procedimento, entretanto, foi notado pelo professor que só alguns estudantes chegaram a perceber que o motivo de executar tal procedimento era pelo fato deles terem alinhado o centro de massa no ponto onde a esfera era largada. Apenas Emerson conseguiu perceber o motivo de ter que medir o alcance até o centro do registro deixado pela esfera no papel.

Após todos os grupos finalizarem a coleta dos dados, sempre fez parte das ações do professor realizar uma análise prévia (seguindo as solicitações contidas no roteiro) junto com os estudantes com o objetivo de suscitar um debate acerca dos resultados. Dessa forma, ao escrever no quadro o resultado para a velocidade

do modelo cinemático $(v_x = x \sqrt{\frac{g}{2H}})$ e do modelo CEM $(v_x = \sqrt{2gh})$ e expressar o erro absoluto (que foi bastante alto), um dos estudantes, espantado com a divergência obtida, perguntou:

Anderson : “Nossa! Tá certo isso?!” (F8E1)

Nesse momento, com o intuito de responder ao questionamento do Anderson, o professor iniciou a discussão sobre as incertezas instrumentais propagadas para o cálculo das velocidades, esperou que os estudantes realizassem os cálculos e comparou o resultado das incertezas instrumentais propagadas com o erro absoluto. De modo a deixar mais intuitivo essa confrontação, o professor apresentou esquematicamente a comparação entre a incerteza instrumental e o erro absoluto, como ilustrado na Figura 22. Nesta figura está representado o valor do erro absoluto maior do que a incerteza instrumental (o tamanho das barras está em escala) indicando que haviam outras causas além da imprecisão instrumental que estavam contribuindo de forma mais significativa com o erro experimental obtido.

Figura 22: Comparação entre o erro absoluto e a incerteza instrumental propagada.



Fonte: Autoria própria.

Após as discussões feitas, o professor questionou novamente:

Professor: Vocês acham que o erro experimental obtido pode ser atribuído aos instrumentos utilizados? (F9E1)

Frente a esse questionamento, grande parte dos estudantes franziam suas testas e meneavam suas cabeças e, um pouco vacilantes e silenciosos, sinalizaram que não. Instigado, muitas vezes por essa atitude vacilante dos estudantes, o professor reforçou novamente os procedimentos adotados e os cálculos realizados para enfatizar que as incertezas instrumentais não eram suficientes para explicar o erro obtido. De forma geral, o professor tem percebido que, após certo tempo de reflexão, tem sido bastante comum os estudantes procurarem fatores como a resistência do ar e o atrito para explicarem o resultado obtido para o erro

experimental. Entretanto, a conclusão de um dos estudantes despertou a atenção do professor.

Anderson : Então fomos nós os responsáveis. (F10E1)

Já outra estudante (Elaine) teve uma percepção diferente e que também foi considerada interessante pelo professor:

Elaine: Vejo que usamos dois modelos diferentes, portanto, não obteremos resultados iguais. Já que em um deles temos apenas que medir uma altura (h) e no outro precisamos medir o alcance (x) e a altura do lançador em relação ao anteparo (H). (F11E1)

Pela consideração feita por Anderson, o professor percebeu que ele estava se referindo ao procedimento executado. Já a consideração feita pela Elaine, forneceu elementos para o professor concluir que, para ela, havia uma vinculação entre erro experimental e número de grandezas medidas.

Após Elaine expressar suas ideias acerca do questionamento feito pelo professor, Anderson retomou a palavra e reiterou suas considerações:

Anderson: Eu acredito que o procedimento realizado é que explica tudo isso. Por exemplo: no momento de alinhar o prumo com a aresta do anteparo, algumas vezes, este ficava oscilando um pouco. Então não temos certeza de que o ponto zero para medir o alcance é no ponto indicado; como a esfera era “grande” tornava-se difícil alinhar o seu centro de massa com o ponto em que era solta. (F12E1)

O professor concordou com Anderson e reforçou que os erros associados à execução do experimento teriam sua contribuição no resultado obtido. Com o objetivo de aprofundar mais um pouco o debate, o professor retomou a discussão sobre os dois modelos usados. Nesse momento, por meio das equações escritas no quadro, ele indagou:

Professor: Conseguem perceber que o termo da velocidade do modelo da conservação da energia mecânica refere-se ao movimento do centro de massa? (F13E1)

Frente ao olhar questionador dos estudantes, o professor procurou (com o auxílio do arranjo experimental) esclarecer a sua indagação segurando a esfera e posicionando-a sobre um ponto do lançador. Ele executou o movimento de arrastar a esfera sobre o lançador e explicou que a velocidade calculada pelo modelo da

conservação da energia mecânica referia-se ao movimento do centro de massa da esfera em relação ao lançador. E após essa demonstração, ele reforçou o questionamento:

Professor: A esfera está realizando esse movimento de arraste? (F14E1)

Alex : Não! A esfera está rotacionando. (F15E1)

Professor: Então no modelo está faltando alguma coisa...o que seria? (F16E1)

Alex : A energia cinética. (F17E1)

Professor: Falta implementar a energia cinética de rotação no modelo. E é a ausência dessa energia que está dando uma contribuição maior para a magnitude do erro calculado. (F18E1)

As categorias e as unidades de sentido definidas estão expostas no quadro abaixo e, mediante a análise deste, vamos discutir sobre a alocação das falas destacadas em cada célula deste quadro.

Quadro 4: Categorização das unidades de sentido da etapa 1.

UNIDADES DE SENTIDO	CATEGORIAS		
	1-Ações Algorítmicas	2-Ações Silogísticas	3-Ações Heurísticas
1-Execução de protocolos	Mário (F1E1 e F3E1) Lucas (F5E1)		
2-Atribuição do erro aos instrumentos e/ou aos procedimentos		Anderson (F10E1 e F12E1) Elaine (F11E1)	
3-Articulação entre modelo teórico e execução experimental		Emerson (F7E1) Alex (F15E1 e F17E1)	

Fonte: Autoria própria.

Com o intuito de facilitar a localização das falas expostas no quadro acima, vamos referenciá-las por meio da codificação (U1C1, U1C2,...,etc), como sendo Unidade de Sentido 1 da Categoria 1, Unidade de Sentido 1 da Categoria 2 e assim por diante. Vamos conceituar cada uma das interseções entre as unidades de sentido e as categorias à medida que a análise for sendo feita para cada etapa.

Posto dessa forma, as falas que foram alocadas em U1C1 possuem a característica comum de representarem as ações nas quais os estudantes as

executaram com o intuito de atender às solicitações do roteiro ou as do professor sem haver apresentarem fundamentação alguma sobre o motivo do procedimento realizado. Sendo assim, o cerne das dúvidas do Mário (F1E1/F3E1) estava na preocupação do momento dele calcular a velocidade de lançamento da esfera, o resultado não estivesse errado. Essa afirmação está respaldada no fato que ele não percebeu que para medir o alcance, partindo do local que ele desejava, seria necessário alinhar a extremidade do lançador ao ponto escolhido devido ao sistema de referência do modelo teórico definir tal ponto. Por isso consideramos uma ação que visou apenas atender aos protocolos definidos no roteiro.

Já na fala F5E1, Lucas perguntou ao professor se o alcance seria medido no centro da marca deixada pela esfera sobre o papel. Categorizamos essa ação como algorítmica porque, em geral, quando observamos objetos simétricos, somos (na área das ciências experimentais) intuitivamente levados a considerar o ponto de simetria como o de referência. Portanto, é plausível considerar que o apontamento do Lucas apenas buscava a anuência do professor para sua escolha. Isso porque quando o professor perguntou se ele entendia o motivo pelo qual essa escolha estava sendo feita, ele não conseguiu expressar razão alguma. O silêncio prolongado do Lucas possibilitou a intervenção do seu colega Emerson (F7E1) a respeito da causa de tal escolha.

A principal característica que consubstancia as ações descritas nas falas que foram reunidas em U3C2 é aquela em que os estudantes realizaram uma articulação entre o modelo teórico e os procedimentos experimentais. Essa articulação deve ser feita, porém, com base nas premissas definidas pelo professor ou pelo roteiro. Portanto, a consideração do Emerson em (F7E1), na qual ele responde à pergunta do professor endereçada ao Lucas, foi fundamentada nas discussões conduzidas pelo professor em aula. Já as conclusões que Alex chegou em (F15E1 e F17E1) estão embasadas na demonstração prática feita pelo professor de que a esfera não estava deslizando pelo lançador horizontal, mas rolando sobre este.

Os diálogos reunidos em U1C1 representam aquelas ações em que os estudantes atribuem ao instrumento e/ou ao procedimento como sendo uma das causas das divergências entre os resultados experimentais e o previsto pelo

modelo teórico. Ademais, essa característica é comumente observada nas atividades práticas nos laboratórios didáticos. Nas considerações feitas pelo Anderson (F10E1 e F12E1), ele apenas percebeu que os instrumentos não eram os responsáveis pelo erro obtido, somente após a comparação feita pelo professor entre o erro experimental e as incertezas instrumentais. Sabendo que também é corriqueira nas atividades práticas a ação de atribuir ao procedimento experimental (como a imperícia do experimentador, por exemplo) as causas das divergências obtidas, estamos considerando esta ação como sendo condicionada e, por conseguinte, uma ação algorítmica, porque não é necessária uma ação interpretativa mais intensa. De forma análoga, aplicamos os mesmos argumentos para a consideração feita por Elaine (F11E1) que, além de atribuir a diferença dos modelos como sendo um fator para explicar o erro experimental, ela permaneceu vinculada à atribuição do erro aos instrumentos nas medidas realizadas, mesmo após os cálculos expostos das incertezas instrumentais. Além disso, como exposto anteriormente, ela elaborou uma relação entre quantidade de medidas num modelo teórico e o erro experimental obtido. Interpretamos que essa associação realizada por ela esteja relacionada à ideia de que quanto mais grandezas para medir (processo que necessita de um instrumento), maior a probabilidade de cometer erros. Portanto, as considerações da Elaine nos sugerem o quão intenso é essa vinculação entre erro experimental e sua atribuição ao instrumento.

Relato da segunda etapa do experimento

A segunda etapa (apoiada na utilização dos sensores ópticos acoplados ao mesmo lançador horizontal da etapa anterior) foi iniciada pelo professor explorando junto com os estudantes o arranjo experimental, destacando sua montagem bem como o processo de aquisição de dados pelo equipamento acoplado ao lançador (Figura 6). Foi enfatizado, ainda, que o fenômeno em estudo continuava sendo a velocidade de lançamento da esfera, porém, a maneira como executariam a sua mensuração seria realizada a partir de outra perspectiva. Nesse momento, Emerson interveio e considerou:

Emerson: Isso é interessante porque são experimentos diferentes, mas que, de certa forma, um complementa o outro. Se eu souber a velocidade, saberei onde a esfera vai cair. (F1E2)

Esse fato é interessante porque embora o professor chamasse à atenção dos estudantes para o fato de que o objetivo do experimento fosse o mesmo daquele executado anteriormente, com certa frequência alguns deles consideravam que eram experimentos diferentes e que um complementava o outro.

Essa consideração trouxe para o professor uma ambiguidade quanto à maneira como a diferença que existia entre os arranjos estava sendo compreendida. Neste caso, preocupado com a maneira como o experimento estava sendo compreendido, o professor voltou a destacar que o mesmo fenômeno (velocidade de lançamento da esfera) estava sendo investigado por meio de uma abordagem diferente. Dessa forma, era esperado uma tendência de convergência entre o valor da velocidade estimada com base nos dados do alcance (no experimento anterior) e o que estava sendo então realizado por meio da razão entre a distância que separa os sensores ópticos e o tempo gasto pela esfera para cobrir tal distância $v_x = x/t$. De toda forma, foi possível observar que alguns estudantes apresentaram uma percepção bastante compatível com o objetivo do professor, qual seja, que a proposta era diminuir os erros e as incertezas da estimativa do valor da velocidade de lançamento, abordando o experimento por dois caminhos diferentes, isto é, dois arranjos diferentes para medir essa velocidade.

Lucas: Nesse caso, estamos buscando ir por dois caminhos diferentes, tentando diminuir os erros e as incertezas nos cálculos, e sempre buscando aperfeiçoar o resultado. Com essas duas formas de medir a velocidade, podemos detalhar mais quais são os erros que estão envolvidos no experimento. (F2E2)

No entanto, era comum que os estudantes ficassem presos ao experimento anterior, o qual era baseado na medida do alcance, e buscassem no novo arranjo o instrumento que serviria para a medida dessa grandeza.

Emerson: Professor, mas para calcular essa velocidade aqui [escrita no roteiro] é necessário medir o alcance. (F3E2)

Mais uma vez, esse tipo de questionamento deixou o professor intrigado com o fato que, mesmo após suas explicações e a intervenção do Lucas, parecia não estar havendo uma mudança na maneira como estava sendo compreendido o arranjo experimental no qual tinha sido acoplado os sensores ópticos. Além disso,

preocupava o professor o fato de que, com este novo arranjo, os estudantes não estavam percebendo que as medidas das grandezas a serem realizadas para a estimativa do valor da velocidade seriam outras. Frente a isso, o professor insistia em esclarecer que ao invés de medir os alcances, a teoria que servia como marco orientador para o cálculo da velocidade de lançamento, era a da conservação da energia mecânica para objetos em rolamento, $v_x = \sqrt{\frac{10gh}{7}}$. Desse modo, o resultado obtido seria comparado com a velocidade calculada com base na distância entre os sensores ópticos e dos dados de tempo coletados por estes.

Como de praxe, o professor iniciou o experimento partindo de uma discussão com os estudantes sobre os procedimentos descritos no roteiro que orientava a execução do experimento sobre a CEMR (Anexo 2). Nessa discussão, era explorado tanto o arranjo experimental, no que se refere à função de cada parte que o compunha, quanto às minúcias dos procedimentos experimentais. Posteriormente, os estudantes organizaram-se em grupos e, após um breve momento de conversa entre seus componentes acerca das atribuições que cada um deveria executar, o experimento foi iniciado. O professor percebeu que uma medida solicitada pelo roteiro deixou alguns estudantes ensimesmados de tal modo que esses voltavam a se reunir para debater. Tal solicitação foi sobre a medida do diâmetro da esfera utilizada no experimento.

Poliana: Para que vou precisar do diâmetro professor? Se é que esse “d” aí [escrito no quadro] é o diâmetro. (F4E2)

Poliana estava bastante concentrada no que o professor tinha escrito no quadro e não percebeu que no roteiro estava descrita a grandeza de sua pergunta. Porém, o seu questionamento reforça o que foi percebido em aula acerca da dúvida que pairava sobre a utilidade desta medida.

Frente a esse fato, o professor observava as discussões entre os estudantes com relação a essa medida e percebia que, embora eles concordassem que o diâmetro não era uma variável que fazia parte das equações utilizadas para o cálculo da velocidade de lançamento da esfera, eles supunham que possivelmente a equação poderia ser reescrita de alguma forma de modo a incorporar essa variável. Habitualmente o professor não interferia nessas

discussões e elucidava as dúvidas dos estudantes num momento em que eles teriam que executar os cálculos de propagação das incertezas das medidas diretas para as indiretas.

As medidas do diâmetro da esfera e da distância entre os sensores ópticos eram feitas com o uso do paquímetro. E no momento em que estava sendo executada e debatida a incerteza referente aos instrumentos analógicos, que via de regra é calculada pela metade da resolução do instrumento, Emerson questionou:

Emerson: Este paquímetro é uma exceção [referindo-se à incerteza deste instrumento], não é? (F5E2)

Professor: Neste caso, a incerteza é a própria resolução do instrumento. (F6E2)

Em outras ocasiões, quando a mesma ação era executada com o paquímetro, outros estudantes solicitavam a ajuda do professor para saber como seria escrita a incerteza associada à medida feita por meio desse instrumento.

No instante em que os estudantes estavam medindo a distância entre os sensores, outro fato interessante foi o questionamento feito por Nelson ao professor.

Nelson: Professor, se aumentar a distância entre os sensores, a velocidade vai mudar? (F7E2)

O professor ficou bastante satisfeito por Nelson ter suscitado tal questão espontaneamente, já que não havia solicitação alguma contida no roteiro ou feita pelo professor. Aproveitando a consideração perspicaz do Nelson, o professor estendeu a indagação para toda a turma.

Elaine: Vai modificar porque a velocidade da esfera é diferente em cada ponto. (F8E2)

O professor dirigiu-se a Elaine e explicou melhor a questão suscitada:

Professor: Seu apontamento está correto. Entretanto, a pergunta foi: se a distância entre os sensores, na região onde estes foram colocados, for modificada, ocasionará a mudança no valor da velocidade? (F9E2)

Para responder à dúvida levantada, o professor solicitou um dos dados coletados da distância em que os sensores foram colocados e depois a modificou. Em seguida, solicitou para que os estudantes medissem novamente o tempo que a esfera gastou para percorrer a nova distância. Nesse ínterim, alguns estudantes debatiam entre eles se o valor da velocidade mudaria ou não. Para a primeira distância entre os sensores foi obtida uma velocidade de 99,4 cm/s, enquanto para a segunda distância foi de 99,3 cm/s. No momento em que o professor escreveu os resultados no quadro, Anderson falou:

Anderson: Eu disse que mudava. (F10E2)

Mário: Mas mudou muito pouco! Isso é devido ao erro [apontado para o equipamento]. (F11E2)

Após um instante observando o arranjo e refletindo, Anderson falou:

Anderson: Entendi! Aumentando a distância entre os sensores, o tempo aumenta proporcionalmente. (F12E2)

Professor: Isso! Entendem a causa destes resultados terem sido aproximadamente iguais?. (F13E2)

Elaine: O local onde os sensores estão é a região em que a velocidade permanece constante. (F14E2)

Após a coleta das medidas diretas, já bastante habituados com a manipulação de ferramentas computacionais, os estudantes fizeram uso do *software* de planilha eletrônica para executar os cálculos estatísticos solicitados pelo roteiro. Após concluírem a quantidade de repetições definidas pelo roteiro, eles juntamente com o professor calcularam o erro experimental entre os valores da velocidade medida e prevista pelo modelo teórico da CEMR, bem como o cálculo de propagação das incertezas. Neste momento, o professor retomou o debate sobre a utilidade da medida do diâmetro da esfera e perguntou aos estudantes sobre a maneira pela qual eles fizeram o ajuste da posição da altura em que a esfera foi largada. O objetivo do professor com esse questionamento foi conduzi-los a perceber que havia uma incerteza em posicionar a esfera sobre alguma das alturas demarcadas sobre o lançador horizontal. Em resposta à pergunta feita pelo professor, alguns estudantes relatavam que sentiam dificuldade em saber se o

centro da esfera estava alinhado com a marcação da altura indicada no lançador horizontal. E nesse momento, Elaine expressou sua conclusão:

Elaine: Então o diâmetro da esfera será a nossa incerteza.
(F15E2)

O professor, aproveitando a consideração da Elaine, buscou instigar os estudantes à reflexão de que era plausível considerar que a incerteza no posicionamento da esfera poderia ser alguma fração do valor do seu raio e que, portanto, a medida do seu diâmetro era necessária para calcular a incerteza associada à medida da altura. Poliana conseguiu perceber o encadeamento das ideias por trás do questionamento do professor e a correlacionou com a dificuldade relatada e sentida por ela e seus colegas. Entretanto, o professor precisou fazer uma ressalva, destacando que a incerteza seria alguma fração do diâmetro da esfera. Nesse ponto da conversa, Mário concluiu:

Mário: Então, quanto menor a esfera mais próximo do seu centro conseguiríamos posicioná-la. (F16E2)

Professor: Estaríamos nos aproximando dos requisitos do modelo, de uma massa pontual. (F17E2)

Com a compreensão dos estudantes a respeito da estimativa dessa incerteza, o professor solicitou que eles definissem que fração do diâmetro da esfera corresponderia à incerteza associada à medida da altura.

Após os estudantes obterem os resultados da análise, o professor sempre proporcionava espaço para a discussão sobre as causas que contribuíram para a magnitude do erro experimental calculado. Durante essa discussão, uns argumentavam que os sensores ópticos utilizados foram os responsáveis pelo erro experimental, porque a esfera passava muito rápido e que poderia haver um atraso no registro do tempo pelo equipamento.

Emerson: Acho que, talvez, seja a velocidade com que a esfera passa pelos sensores não seja suficiente para que o LDR possa captar a passagem. Às vezes acontece esse problema. (F18E2)

Outros argumentavam que a velocidade com que a esfera passava pelo primeiro sensor óptico era diferente da que passava pelo segundo, sugerindo, portanto, que a esfera estava em MRUV.

Ronaldo: Acredito que a velocidade com que a esfera corta o primeiro sensor é diferente com a qual ela passa no segundo. (F19E2)

Contudo o professor lembrou a Emerson que no experimento de queda livre tinha sido utilizado os mesmos sensores ópticos, e a velocidade com que a esfera cortou o feixe de luz era muito maior do que a velocidade no experimento em análise e que o equipamento registrou o tempo do percurso. Emerson compreendeu o que foi dito e voltou a esquadrihar o arranjo experimental. Porém, ele não externou mais considerações. A explicação dada pelo Ronaldo representa o raciocínio que tem sido bastante frequente de ser concebido pelos estudantes para fundamentar os seus argumentos sobre os resultados obtidos e, quando esta explicação é trazida à tona, o professor sempre tem reforçado que o ponto no qual a análise está sendo feita, a esfera está em MRU.

A resistência do ar, outro fator que também é comumente citado em práticas laboratoriais como esta, foi elencado por eles como sendo uma das causas da divergência entre os resultados.

Com base nas explicações dadas pelos estudantes, o fato que chamava mais atenção do professor era de que as incertezas calculadas, em geral, não foram mencionadas para fundamentar suas assertivas. Esse fato, portanto, sugeria-lhe que os resultados dos cálculos apresentados dessas grandezas constavam apenas para atender à solicitação contida no roteiro. Outra evidência que tem ajudado a sustentar essa interpretação diz respeito a uma característica marcante que, há tempos, tem sido observada nos relatórios apresentados: a completa omissão da escrita das incertezas associadas às medidas das grandezas físicas (diretas e indiretas) envolvidas no experimento.

De forma análoga ao quadro 4 da etapa anterior, o quadro seguinte consubstancia as ações dos estudantes por meio das unidades de sentido e categorias definidas anteriormente.

Quadro 5: Categorização das unidades de sentido da etapa 2.

UNIDADES DE SENTIDO	CATEGORIAS		
	1-Ações Algorítmicas	2-Ações Silogísticas	3-Ações Heurísticas
1-Execução de protocolos	Emerson (F1E2 e F3E2)	Poliana (F4E2) Emerson (F5E2)	
2-Atribuição do erro aos instrumentos e/ou aos procedimentos	Mário (F11E2) Emerson (F18E2)		
3-Articulação entre modelo teórico e execução experimental		Lucas (F2E2) Elaine (F8E2) Anderson (F12E2) Poliana (F14E2 e F15E2) Mário (F16E2) Ronaldo (F19E2)	Nelson (F7E2)

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a definição dada anteriormente para U1C1, alocamos a vinculação que os estudantes comumente fazem entre o arranjo experimental e o fenômeno observado, condensada nas considerações do Emerson (F1E2 e F3E2). Essa escolha fundamenta-se no fato dessa ação sugerir que, em princípio, há uma tendência dos estudantes estabelecerem uma forte relação entre arranjo experimental e fenômeno investigado, sem ponderar acerca dos procedimentos inerentes ao processo. Poderíamos dizer que eles focaram mais na forma (arranjo experimental) do que na “essência” (procedimentos). Sendo assim, consideramos que tal atitude tende a alinhar-se com as ações algorítmicas, já que ações dessa natureza, por serem mais mecânicas, pressupõem movimentos mais protocolares sem a necessidade de movimentos interpretativos mais aprofundados.

Em U2C1, a imediata atribuição de responsabilidade aos instrumentos para explicar a diferença entre os resultados das velocidades, feita por Mário (F11E2), ratifica que essa é uma das ações que mais recorrentemente são observadas nos laboratórios didáticos de física. A definição dessa ação como algorítmica foi motivada pela ausência de qualquer critério que fundamentasse a explicação para a diferença entre os resultados numéricos obtidos. Já a consideração do Emerson acerca da possibilidade dos sensores óticos não terem detectado a passagem da esfera, embora ele tenha buscado justificar, sua ação foi categorizada como sendo de natureza algorítmica pela falta de embasamento nas incertezas instrumentais. Essa inferência é justificada pelo fato de que, por mais que ele tenha percebido (através da perscrutação do arranjo experimental) que o sensor ótico é composto

pelo dispositivo LDR, seu argumento não foi sustentado pelo fato de que na atividade prática realizada na investigação de uma esfera em queda livre, os mesmos sensores foram utilizados para medir o tempo de queda, e estes detectaram a passagem daquela. E como ressaltado pelo professor, a velocidade da esfera era bem maior do que a velocidade calculada na atividade prática em questão.

As conclusões da Poliana (F4E2) e do Emerson (F5E2) foram alocadas em U1C2 (Execução de protocolos da Categoria Silogística) porque, embora tenha havido uma articulação entre o modelo teórico e o procedimento experimental, suas ações acabaram sendo conduzidas para atender a um protocolo estabelecido (pelo roteiro ou pelo professor). O raciocínio feito por Poliana levou-a a perceber que as equações que descrevem os modelos teóricos não possuem dependência alguma do diâmetro da esfera. Contudo, ela e seus colegas consideraram que: por mais que não estivesse escrito o diâmetro nas equações, essas poderiam sofrer alguma modificação para incorporar essa grandeza. Esse tipo de modificação já havia acontecido antes, então, ela considerou que teria que fazer a mensuração da grandeza para utilizá-la posteriormente. Já as considerações do Emerson, em função da solicitação do roteiro para o uso do paquímetro (e enfatizado pelo professor em aula), ele procurou atendê-la e ficou com dúvidas quanto à forma de escrever a incerteza. Entretanto, somente após o professor lembrar sobre a regra geral para calcular a incerteza para instrumentos analógicos é que ele percebeu que o paquímetro utilizado não atendia a essa regra.

As ações reunidas em U3C2 (Articulação entre modelo teórico e execução experimental-Categoria Silogística), correspondem às considerações feitas pelos estudantes com respeito à comparação feita entre o modelo teórico e os procedimentos realizados na prática experimental. A percepção do Lucas (F2E2) com respeito aos modelos teóricos utilizados para calcular a velocidade de lançamento da esfera foi articulada com o apoio das considerações realizadas pelo professor. Todavia, por mais que ele tenha citado a diminuição dos erros experimentais, ainda assim, ele não conseguiu definir algum critério que fundamentasse o processo dessa diminuição. De fato, com o auxílio do professor, ele desvinculou-se da ideia de correlacionar arranjo experimental de fenômeno

observado. De forma análoga aconteceu com as considerações do Anderson (F12E2), Elaine (F14E2 e F15E2), Mário (F16E2) e Ronaldo (F19E2): foram necessárias considerações prévias para que eles elaborassem suas conclusões. Anderson só chegou a constatar que o tempo gasto pela esfera para percorrer a nova distância entre estes aumentava proporcionalmente, a despeito da modificação feita na distância entre os sensores, no momento em que o professor escreveu os resultados das velocidades para as duas situações e após Mário elucidar que a variação nos resultados era muito pequena e que podia estar relacionada com a precisão do equipamento. Os resultados obtidos para a velocidade e o debate entre o professor e Mário, foi que subsidiaram a conclusão do Anderson. Já Elaine respondeu ao questionamento do professor apoiada nos mesmos resultados e na teoria discutida em aula, articulando as premissas do MRU com o procedimento realizado. Com o mesmo movimento dedutivo, ela percebeu mais adiante que o diâmetro medido da esfera permitiria fazer uma avaliação da incerteza associada ao posicionamento daquela sobre o lançador. Enquanto Mário, por sua vez, rematou (apoiado nas discussões feitas pelo professor e por Elaine) que, à medida que o diâmetro da esfera fosse menor a incerteza diminuiria. Além disso, a consideração da Elaine em (F8E2) também teve seus fundamentos no questionamento suscitado por Nelson.

Com respeito ao questionamento feito por Nelson (F7E2), que gerou todo o debate sobre a modificação da distância entre os sensores, categorizamo-lo como heurístico (U3C3) porque não havia no roteiro solicitação alguma acerca dessa mudança e nem o professor tinha suscitado qualquer ação que a sugerisse. Nelson espontaneamente, apoiado na exploração do arranjo experimental, formulou uma hipótese e compartilhou com o professor por meio de um questionamento.

Relato da terceira etapa do experimento

Como de praxe, o professor retomou as discussões dos principais eventos da aula anterior e reforçou que o tema da conservação da energia mecânica para corpos em rolamento seria novamente abordado. Porém, seria feito por meio de um arranjo experimental que eles fariam a calibração. Nesse momento, alguns estudantes, espontaneamente, buscaram deixar próximos os arranjos

experimentais usados nesta etapa e na etapa 2 com o intuito de fazer uma comparação entre estes. O debate ficou focado se teria alguma diferença na precisão dos resultados com os dois arranjos. Com base no esquadramento do arranjo construído, suas observações concentraram-se na maneira pela qual foi feita a demarcação das alturas, no tamanho do percurso horizontal do plano inclinado e na altura entre o ponto de lançamento da esfera e o de impacto (Figura 23):

Alex: A marcação das alturas foi feita manualmente [referindo-se às alturas nas quais a esfera seria largada no arranjo construído]. (F1E3)

Elaine: O percurso horizontal desse arranjo [construído] é maior. (F2E3)

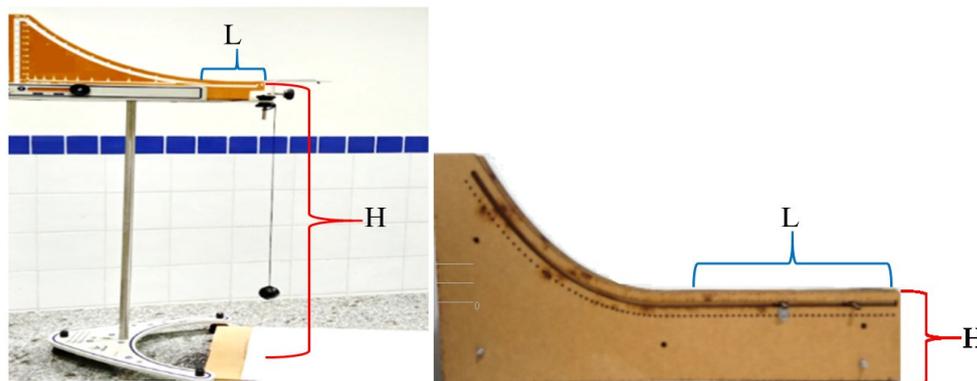
Anderson: Então a velocidade permanece constante por mais tempo. (F3E3)

Observando mais detidamente, Anderson questionou o professor:

Anderson: A altura (H) ser diferente, influencia [no valor da velocidade]? Pois nesse aqui [construído] está próximo onde a esfera cai e no outro a altura é bem maior. (F4E3)

O professor percebeu que Anderson estava se referindo ao procedimento executado na primeira etapa do experimento na qual a altura entre o lançador e o anteparo (H) era uma das grandezas diretas a serem mensuradas. Sua dúvida fortalece a consideração que foi feita anteriormente sobre o quão intensa é a vinculação feita pelos estudantes entre o arranjo experimental e o fenômeno observado. Isso porque, o parâmetro altura (H) só é necessário para o caso no qual se deseja investigar o fenômeno pela perspectiva do modelo cinemático através das equações que descrevem o movimento oblíquo. Portanto, a comparação dos arranjos e a percepção de que a altura (H) era menor do que a do arranjo anterior, conduziram Anderson a considerar a medida do alcance. A Figura 23 tem o intuito de deixar mais claro as considerações feitas tanto por Anderson quanto por Elaine, quando ela se referiu ao percurso horizontal (L).

Figura 23: Comparação entre os arranjos



Fonte: Autoria própria.

Ainda realizando o processo de comparação entre os arranjos experimentais, Alex reforçou o que tinha pontuado anteriormente:

Alex: Nesse [construído] as alturas foram marcadas manualmente. Já no outro deve ter sido feito por alguma máquina. Então pode haver alteração na precisão da medida da altura...suponho. (F5E3)

Elaine: Então vai entrar na incerteza instrumental. (F6E3)

O que vale ser destacado nestas considerações, é a relação que Alex fez sobre a precisão entre os aparatos construídos. Percebe-se que a forma como ele encara essa relação é de que pode haver uma mudança na precisão devido ao fato de ter sido um aparato construído pelo professor. Embora suas palavras não estejam indicando que o arranjo construído pudesse oferecer uma imprecisão maior, estas podem ser tomadas como um emblema do que, em geral, tem sido o entendimento dos estudantes quanto aos equipamentos manufaturados por alguma empresa especializada: destes não oferecerem imprecisões nas medidas realizadas por seu intermédio ou que, se possuírem, são muito pequenas e que podem ser desconsideradas.

Concomitantemente à exploração do arranjo experimental construído, o professor fez a apresentação dos *sketchs* que continham as linhas de comando que compunham o algoritmo que gerenciava as ações do microchip pertencente à placa. Ele também explorou a interface do *software excel* que gerenciava a execução da comunicação serial com a placa.

Novamente Alex comparou os dois arranjos com respeito a maneira de como estes acusavam a passagem da esfera. De fato, um dos arranjos registrava a passagem da esfera por meio da interrupção do feixe de luz, enquanto o outro era pela reflexão da radiação infravermelha pela superfície da esfera. Neste sentido, notando os sensores infravermelhos, Alex considerou:

Alex: A forma de medir o tempo vai ser diferente, então, acho que vai influenciar nos resultados. A forma como registra a passagem da esfera vai ser diferente. Porque ali [apontando para os sensores ópticos do arranjo anterior], como o feixe de luz é cortado, a esfera gera sombra sobre o sensor e o equipamento contabiliza...E aqui... (F7E3)

Como se observa, Alex ficou em dúvida quanto a equivalência entre as duas maneiras de detecção, o que nos permite inferir que o estudante estava preocupado quanto à precisão dos resultados do experimento. Ao perceber a dúvida do colega, Mário, referindo-se especificamente ao instante da detecção, chamou a atenção do grupo afirmando:

Aqui [sensores infravermelhos] é só quando a esfera passar por cima!" (F8E3)

Ao mesmo tempo, Mário tentou correlacionar o acionamento e parada do tempo nos dois arranjos com o erro experimental. Contudo, no meio de suas considerações ele afirmou que não conseguia explicar. No mesmo instante, Alex disse que entendeu o apontamento do Mário.

Alex: Eu entendi o que você quis dizer...Assim que a esfera faz sombra neste aqui [arranjo da etapa anterior], o equipamento já aciona. Mas é acionado antes da passagem do centro de massa. Já nesse daqui [arranjo construído], devido a forma convexa da esfera, o feixe de luz vai ser refletido quando aquela estivesse alinhado ao centro de massa. (F9E3)

Elaine: Eu penso da mesma forma...Quando o feixe de luz é cortado [arranjo da etapa anterior] o equipamento dispara...mas é a superfície da esfera. (F10E3)

O debate continuou acerca da maneira pela qual seria realizado o acionamento e interrupção da contagem do tempo. Todo o movimento de esquadramento dos aparatos feitos pelos estudantes, e suas elucubrações sobre a diferente forma que os arranjos detectavam a passagem da esfera, foram

ações que se destacaram em relação àquelas das etapas anteriores. O que queremos dizer é que nas etapas anteriores suas ações eram mais regradas: orientadas pelo professor ou pelo roteiro, já aqui é notável uma progressão em desvincularem-se dos limites do roteiro e das orientações do professor.

Nesse sentido, Lucas percebeu o que deveria ser feito para ocorrer o processo de acionamento e interrupção da contagem do tempo e considerou:

Lucas: Temos que calibrar os sensores, não é? (F11E3)

O professor percebeu que ele se referia ao processo de calibração como um todo e concordou com seu apontamento. Embora os estudantes tivessem demonstrado que já possuíssem conhecimento sobre o funcionamento do sensor infravermelho, o professor explicou o seu papel no circuito auxiliar. Essa explicação suscitou novamente o debate acerca de como esses sensores poderiam habilitar o início e o encerramento da contagem de tempo.

Lucas: Temos que ir para o *sketch* do voltímetro. Temos que saber como estão as tensões dos sensores... Saber se ela está estável. (F12E3)

Emerson: No código do voltímetro estão sendo utilizadas interrupções? (F13E3)

Professor: Não. (F14E3)

Emerson: Seria uma forma de melhorar a precisão dos sensores. (F15E3)

Professor: Ótimo! Isso já representa uma técnica mais refinada para monitorar a tensão sobre os sensores. (F16E3)

O que vale a pena destacar nesta conversa entre Emerson, Lucas e o professor é que, apesar ter sido uma orientação contida no roteiro sobre o processo de calibração, toda a articulação de ideias entre Emerson e Lucas com respeito ao processo de monitoramento da tensão foi algo que estava bastante descolado das orientações apresentadas. A sugestão do Emerson quanto à maneira de monitorar a tensão elétrica é um indício muito forte de um pensamento estratégico. Ademais, tal forma de monitoramento não era de conhecimento nem mesmo do professor. Contudo, o professor deixou para outro momento a implementação da sugestão do

Emerson devido ao tempo disponível para realizar novos testes com a função de monitoramento sugerida por ele.

Após um dos estudantes habilitar o monitoramento da tensão elétrica sobre os resistores conectados aos sensores através do *sketch* do arduino, o professor prosseguiu:

Professor: Qual é o nosso próximo passo? (F17E3)

Emerson: Colocar a esfera sobre o sensor e verificar o valor da tensão. Não é isso? (F18E3)

Professor: Sim. (F19E3)

Observando as posições da esfera sobre o sensor, os estudantes procuraram ajustar o centro da esfera sobre o centro de cada sensor com o objetivo de registrar o valor da tensão elétrica nesta condição. Um dos estudantes, na busca de um consenso com um dos seus colegas, questionou:

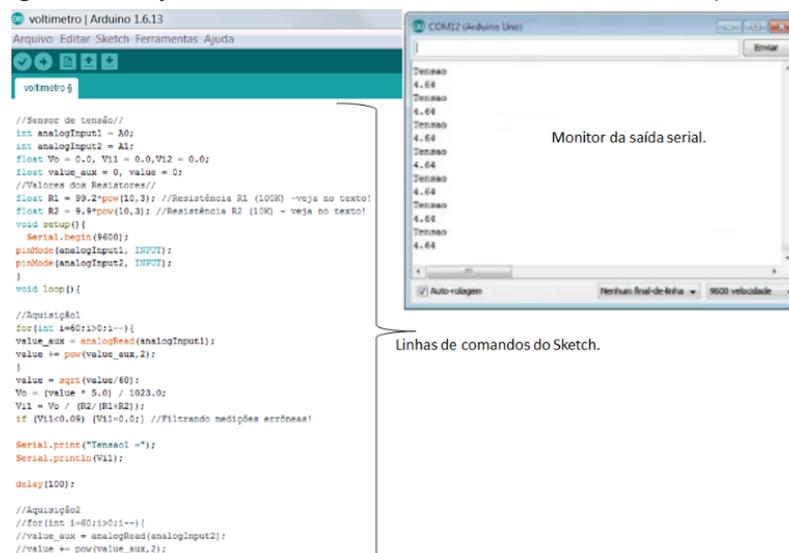
Emerson: Essa calibração poderia ser feita no *sketch*, não é? (F20E3)

Lucas: Isso. (F21E3)

Emerson: As linhas de código que irão trabalhar com as tensões sobre os sensores dizem respeito às linhas de código do voltímetro. (F22E3).

A figura seguinte ilustra ao que o diálogo entre Lucas e Emerson se refere.

Figura 24: Layout do *sketch* e do monitor da saída serial da placa.



Fonte: Autoria própria.

Neste momento os estudantes iniciaram um debate entre eles sobre os valores medidos para as tensões sobre os sensores, as quais foram um pouco diferentes entre si. Nesse momento, o professor retomou a discussão que foi realizada sobre o circuito elétrico auxiliar, no qual os sensores estavam conectados, e ressaltou que o voltímetro estava medindo a tensão elétrica sobre o resistor que conecta os dois fototransistores. Os estudantes compreenderam o detalhe apresentado pelo professor e reconsideraram o procedimento que iriam executar. Neste momento, o professor e os estudantes retomaram a exploração das linhas de comando do *sketch* e discutiram sobre suas funções.

Emerson: Entendi. Nesse caso o “botão” de acionamento do cronômetro é a tensão sobre os sensores. (F23E3)

Lucas: Nesse caso, já eliminaria o erro humano no acionamento. O “delay” da pessoa quando aperta o botão. (F24E3)

O arremate do Lucas foi bastante perspicaz, já que ele percebeu que com esse procedimento o tempo de reação do experimentador era eliminado do procedimento experimental. O ponto relevante foi que ele se referiu ao “delay” humano, pois a máquina também possui. Contudo, frente ao tempo de reação humano e dentro da magnitude das grandezas de interesse do experimento, a melhoria que esta implementação trouxe foi bastante relevante. Tanto o Emerson quanto o Lucas também compreendem esse fato, quando na etapa anterior, foi debatido sobre o tempo de resposta do LDR (F18E2).

Concentrada no código contido no *sketch* e observando o circuito auxiliar, Elaine concluiu:

Elaine: Vamos calibrar partindo da tensão sobre o resistor...aí a gente vai pensar que valor de tensão queremos. Então quanto maior for essa tensão, na minha concepção, a esfera vai estar sobre o sensor. (F25E3)

Essa afirmação da Elaine deixou Mário bastante pensativo a respeito do que ela disse sobre a escolha da tensão elétrica.

Mário: No momento que a esfera passa pelos sensores, teria alguma forma do programa começar a registrar para a maior tensão? Porque Elaine quer escolher a tensão certa. (F26E3)

Alex, intermediando o diálogo entre Mário e Elaine, considerou:

Alex: Não seria uma tensão certa...mas um valor abaixo do escolhido. Poderíamos fazer assim...se a tensão reduzir de um terço...(F27E3)

Elaine: Pelo menos metade. Por exemplo, se a tensão sobre o resistor é de 1,5 volts, quando este atingir metade de sua tensão...com base nos testes...a esfera estará passando com o centro de massa. Então, a gente implementa essa tensão. (F28E3)

Mário: Então só pelos testes que poderemos encontrar a tensão? (F29E3)

Elaine: Isso. (F30E3)

O professor percebeu que Mário não tinha compreendido a explicação da Elaine quando ela falou sobre “escolher a tensão elétrica”. A inquietação dele surgiu porque, para ele, pareceu que a escolha seria arbitrária, sem critério algum. Essa inquietação foi o que chamou a atenção pelo fato de que esta é uma evidência do quanto os estudantes estavam imersos nos procedimentos necessários ao processo de calibração. A atitude ensimesmada do Mário demonstra o esmero no processo do qual participava, pois, à primeira vista, ele poderia apenas ter concordado com a colega e continuado passivamente a executar os outros passos da etapa de calibração.

No processo de aproximar a esfera sobre cada um dos sensores, foi observado novamente uma diferença entre os valores de tensão medidos sobre os resistores conectados a estes. Com base nessa observação, foi sugerido pelos estudantes uma maneira de contornar esse obstáculo através da definição de um valor de tensão que seria escrito no código do *sketch* para habilitar o registro de tempo.

Emerson: Poderíamos fazer uma média dos dois valores de tensão medidos...mas ainda fico com uma “pulga atrás da orelha”, porque para o segundo sensor este valor [a média] ainda fica acima do valor que foi medido. (F31E3)

Muito relevante a consideração feita pelo Emerson. Não só pela forma com que ele procurou articular a variabilidade da mensuração da grandeza elétrica com o conceito estatístico do valor médio para um conjunto de medidas, como também de usá-lo como referência para o acionamento do tempo. Mas sobretudo, pela sua perspicácia em suspeitar que a sua tática não poderia dar certo. Em outras

palavras, o que chamou a atenção foi o seu movimento de reconsiderar um pensamento antes de pô-lo à prova com a verificação experimental.

Com base nesse mesmo raciocínio, Elaine considerou:

Elaine: Vendo as linhas de comando, vamos definir uma tensão para cada um dos sensores. (F32E3)

A troca de ideias entre os estudantes continuou bastante intensa por algum tempo. Momentos após essa sinergia de ideias, ao executar suas propostas de ajuste do parâmetro elétrico para acionar a contagem do tempo, eles não lograram êxito na implementação. Isso porque nos seus ajustes, eles procuraram usar como a tensão elétrica de referência o valor médio das tensões entre os sensores. Retomando o processo de calibração, os estudantes definiram novas tensões de referência e reiniciaram a coleta dos dados. Contudo, ao soltar a esfera não houve registro do tempo. Os estudantes perceberam que a contagem tinha sido iniciada, mas o critério para encerrar não tinha sido correto. Eles reiniciaram mais uma vez o processo de calibração e após finalizarem, realizaram um novo ensaio. Dessa vez o registro do tempo ocorreu com sucesso. Por meio da interface de comunicação serial, desenvolvida no *software excel*, os resultados eram impressos nas células em tempo real. A satisfação estampada em seus rostos merece estar registrada aqui. A figura seguinte ilustra o layout do *sketch* e da interface da comunicação serial com o excel trabalhados pelos estudantes.

Figura 25: Layout do *sketch* e da interface de comunicação serial.

The image shows the Arduino IDE interface with a sketch and a serial communication window. The sketch code is as follows:

```

// Conservacao_Energia_Mecanica
// Arduino IDE
// Conservacao_Energia_Mecanica_Turma

// Definição de pinos
#define ledPin 13 // LED no pino digital 13
#define botaoPin 4 // Botão no pino 4
int Botao=0;
int LABEL=1;
float velocidade;
int Value = LOW; // valor anterior do LED
float BotaoEstado0; // variável a guardar estado do botão
float BotaoEstado1;
float UltimoEstadoBotao0; // variável a guardar o último estado do botão
float UltimoEstadoBotao1;
float referencia1 = 3.75;
float referencia2 = 3.87;
int Blinking; // condição para piscar - o cronômetro venceu
long interval = 100; // intervalo de piscamento - mede a vontade
long previousMillis = 0; // variável a guardar o último momento de atualização do LED
long startTime; // momento de partida do cronômetro
long elapsedTime; // tempo decorrido no cronômetro
int fracaoMilis; // variável a guardar parte fracionária do tempo
int analogInput1 = A0;
int analogInput2 = A1;
float V0 = 0.0, V1 = 0.0, V2 = 0.0;
float Value_eux = 0, Value = 0;
// Valores dos Sensores//
float R1 = 9.8*pow(10,3); //Resistência R1 Valor Nominal(1000)
float R2 = 9.8*pow(10,3); //Resistência R2 Valor Nominal(100)

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CALIBRAGEM");
  Serial.println("LABEL,Time,Tempo(mT)");
  pinMode(analogInput1, INPUT);

```

The serial interface shows the following data:

V (cm/s)	ΔV (cm/s)	Eixo (cm/s)	E%	Média	Desv Pad
37.25	0.25	0.14	0.4%	36.79	0.69
37.25	0.25	0.14	0.4%		
37.25	0.25	0.14	0.4%		
37.07	0.24	0.32	0.9%		
35.85	0.24	1.55	4.1%		
35.85	0.24	1.55	4.1%		
35.68	0.23	1.72	4.6%		
37.07	0.24	0.32	0.9%		

Other data shown in the interface:

- Distância entre os Sensores: r (cm) = 7.60, s (cm) = 0.05
- Diâmetro da Esfera: d (cm) = 5.35
- Altura Escalada: h (cm) = 1.00, dh (cm) = 0.54
- Velocidade Prevista: V (cm/s) = 37.40, E% (cm/s) = 7.00
- Eixo (cm/s) = 0.62, Erro % = 1.65%

The serial interface also includes control buttons: Connect, Reset Timer, Clear Columns, and Display direct debug. It also shows a message: "Do not move this window around while logging! That might crash Excel!"

Fonte: Autoria própria.

A movimentação ocorrida na retomada de cada insucesso no registro do tempo para investigar suas causas foi uma ação de caráter proeminentemente estratégico, isso porque cada insucesso mostrou que o caminho a ser trilhado deveria ser modificado e, com isso, a tática para executar a próxima tentativa precisaria ser definida.

Ao passo que os estudantes realizavam as repetições dos ensaios, eles verificavam o valor do erro experimental na planilha e faziam suas considerações. Um fato interessante foi que Elaine sugeriu para que os colegas (que estavam posicionando a esfera na altura escolhida) modificassem, aos poucos, o posicionamento da esfera sobre a altura indicada no lançador para verificar o comportamento da variação do erro experimental.

Elaine: Isso [erros calculados] pode ser devido à variação do posicionamento da esfera. Vejam!..Quando alinham o centro de massa na altura o erro diminui. (F33E3)

Essa atitude de esmiuçar o quanto uma pequena variação entre o alinhamento do centro de massa e a marcação da altura na qual a esfera era largada, demonstrou um esmero com o procedimento de calibração executado. Pois, foram eles que definiram a tensão elétrica de referência como sendo aquela na qual o centro de massa estava sobre os sensores. Além disso, era uma forma de investigar, embasados nos resultados registrados na planilha, se os procedimentos experimentais poderiam influenciar nos resultados.

Ao passo em que estavam sendo executados os ensaios sugeridos por Elaine, Mário questionou:

Mário: Se mudarmos a esfera? (F34E3)

Pela praticidade de obterem os resultados dos dados coletados impressos em tempo real na planilha, os estudantes colocaram em prática a sugestão do Mário. Eles escolheram outras esferas disponíveis no laboratório e submeteram-nas ao teste. Entre essas, eles escolheram uma esfera cuja superfície não estava mais espelhada devido à oxidação. Ao soltarem a esfera, perceberam que não houve o registro do tempo.

Elaine: É porque essa esfera está “arranhada” e não reflete a luz.
(F35E3)

A despeito da palavra escolhida por Elaine para explicar a oxidação da superfície da esfera, o que chamou a atenção nas ações descritas acima é o espírito investigativo externado pelos estudantes. A sugestão do Mário em mudar a esfera pressupõe uma articulação vigorosa de ideias. Isso porque, pela nossa perspectiva, para que ele pudesse sugerir a mudança da esfera foi preciso estar bastante atento aos critérios adotados no processo de calibração: ponderar sobre a mudança da esfera que foi usada para este processo e tecer uma argumentação para explicar o motivo pelo qual não foi registrado a detecção de uma das esferas utilizadas.

Após os testes com as esferas diferentes, os estudantes retomaram os ensaios e o professor pediu para que eles explorassem as informações da planilha. Os estudantes perceberam que a incerteza no posicionamento da altura não era a incerteza da régua utilizada para demarcá-las, e com base nesta observação fizeram suas considerações:

Lucas: Por mais que alguém tente posicionar manualmente o centro de massa bem exato no ponto, ainda assim a gente tem um erro no posicionamento. E ainda entra a questão do lançamento: se a forma como você larga a esfera no primeiro lançamento está sendo exatamente igual ao do segundo e assim por diante. Por mais que você não tenha a intenção de dar um impulso à esfera, é possível que isso ocorra ou que você demore a soltar. Acho que a soma desses fatores pode influenciar no erro da altura. (F36E3)

A argúcia do Lucas de levar em conta até a maneira como a esfera estava sendo largada, demonstra o quão meticuloso ele foi na percepção do procedimento experimental. Fica patente que sua consideração não está baseada apenas numa enumeração de causas para a diferença entre os resultados obtidos.

A consideração feita por Anderson também chamou bastante a atenção do professor:

Anderson: Mas essa incerteza na altura não seria a soma da incerteza do instrumento e dessa fração do diâmetro? (F37E3)

O questionamento do Anderson remete ao conceito da incerteza combinada padrão, e o que merece ser destacado é que essa grandeza não estava contida no roteiro e nem o professor a suscitou durante a aula. Contudo, a ressalva feita pelo

professor à sugestão do Anderson foi de que não seria por meio de uma soma direta das incertezas indicadas por ele, mas por meio da equação da incerteza combinada padrão. Portanto, a despeito disso, o que vale a pena ser ressaltado é que ele percebeu que as incertezas envolvidas não eram mutuamente excludentes, mas que poderiam ser combinadas.

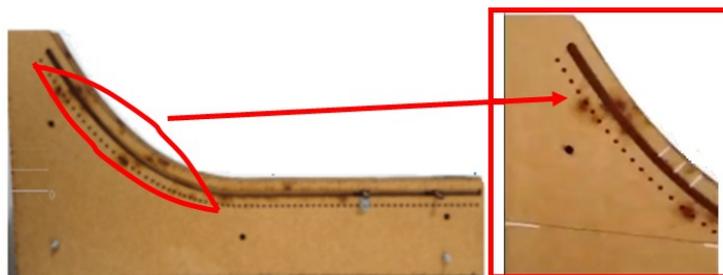
Dando continuidade à análise dos seus resultados, os estudantes iniciaram um debate acerca das limitações do arranjo experimental, dos erros envolvidos na execução da prática e nas melhorias que poderiam ser implementadas no arranjo como também no procedimento.

Emerson: O que vem na minha cabeça para explicar [a divergência dos resultados] são os erros no momento de calibrar todo o equipamento. (F38E3)

Lucas: Uma sugestão que eu daria para o problema do lançamento da esfera seria a possibilidade de colocar um lançador fixo...não que esse não possa se movimentar, mas que ele mantenha a esfera fixa no ponto escolhido. Por exemplo, seria possível aproveitar os orifícios feitos para o suporte dos sensores para definir o ponto onde ficaria o lançador: que poderia ser uma base que quando fosse pressionado um botão, essa base seria baixada como se fosse uma porta e, então, lançava a esfera. Dessa forma já eliminaria o problema do impulso dado a esfera assim como o atrito entre os dedos e a esfera. (F39E3)

Na fala do Lucas, quando ele se referiu a um lançador fixo para a esfera, ele procurou explicar sobre um mecanismo para mantê-la fixa no ponto escolhido e depois soltá-la. Esse mecanismo também poderia se movimentar sobre o plano inclinado usando os próprios orifícios destinados à fixação da posição dos sensores, como ilustrado na figura abaixo:

Figura 26: Indicação do local sugerido pelo estudante.



Fonte: Autoria própria.

Com o mesmo intuito de contornar o problema para largar a esfera, sem que o sujeito imprimisse algum impulso ao executar essa ação, Alex sugeriu:

Alex: Eu pensei em algo que não precisaria necessariamente de ser eletrônico. Poderia ser mecânico, uma base que poderíamos puxar para soltar a esfera, porém...pode ser que faça a esfera deslizar quando puxar. (F40E3)

A proposta do Alex de procurar uma solução que não fosse necessariamente eletrônica e sua reconsideração acerca do mecanismo proposto por ele, demonstra a dinâmica de ideias que os estudantes tiveram com a imersão no processo de calibração.

Não estamos focados em discutir se as sugestões feitas pelos estudantes para eliminar o impulso impresso à esfera no momento de soltá-la resolveria tal problema. Estamos interessados na forma como eles fundamentaram suas estratégias para contornar os obstáculos percebidos durante todo o processo experimental. Isso porque, todos que já vivenciaram qualquer implementação de ordem prática, enfrentam empecilhos que muitas vezes não foram considerados na etapa do planejamento.

Já as sugestões do Emerson ficaram concentradas em soluções referentes às linhas de comando e à eletrônica. Ademais, ele demonstrou bastante entusiasmo com a aplicação prática dos conteúdos aprendidos nas disciplinas voltadas à programação em um equipamento destinado à disciplina de física.

Emerson: Tenho sugestões. Por exemplo: eu mudaria o código para trabalhar com interrupções porque a interrupção vai ser “escutada” pelo processador do arduino mesmo que esse esteja em uma linha diferente da que ele está monitorando...Variou, ele já “escuta”. Então já fica mais preciso. No hardware, eu modificaria a organização dos sensores: eu utilizaria um receptor que pudesse se ajustar ao tamanho da esfera, e automatizaria a ação de soltar a esfera. Para resolver o problema do centro de massa, eu poderia usar sensores paralelos de modo que fosse possível movimentá-los no aparato...além do sensor que registra a passagem da esfera, eu teria mais dois sensores um ao lado do outro que emitiriam um sinal sonoro caso o centro de massa não tivesse ajustado. Outra sugestão seria construir uma placa de circuito impresso para o circuito sair da protoboard porque elimina alguns efeitos como capacitância parasita e mal contato. Já com relação ao que o colega sugeriu, poderia ser utilizado um servo motor através do qual apertando-o esse liberaria a esfera...Quando a gente fez o mesmo experimento com os equipamentos do laboratório, eu fico

imaginando que estes possuem erros semelhantes aos que acabamos de discutir. (F41E3)

É bastante evidente como o pensamento tático do Emerson está proeminente em suas considerações. Em sua fala, ele explicou um pouco sobre a implementação da linha de comando que tinha sugerido anteriormente para monitorar a tensão elétrica, e expôs o seu argumento para fundamentar o uso de tal linha de comando. Outro ponto bastante relevante foi que após ter acompanhado cada etapa da calibração e execução dos ensaios experimentais, ele passou a refletir sobre as incertezas instrumentais dos equipamentos manufaturados. Já que como estes também precisaram ser calibrados, então, deveriam possuir limitações em sua precisão.

Em certo momento o professor chamou a atenção dos estudantes para o fato de que eles não tinham feito a medida da distância entre os sensores. Os cálculos obtidos por eles estavam sendo realizados usando um valor que já estava escrito na célula da planilha. Dessa forma, ele pediu para que os estudantes medissem a distância entre os sensores e implementassem na planilha. A diferença entre o valor da nova medida e da antiga foi de 0,10 cm. O que chamou a atenção do professor foi as considerações feitas por Elaine e Mário:

Elaine: O erro experimental aumentou em um por cento por causa de 0,10 cm!...Imagina se estivéssemos calibrando um sensor para um carro...quase um por cento de chance a mais de haver colisão. (F42E3)

Mário: É muita coisa...se um médico diz que você tem certa porcentagem de chance para morrer e depois ele diz que aumentou mais um por cento... seria preocupante. (F43E3)

Tanto o professor quanto os outros estudantes entenderam que a consideração feita por Elaine se referia a um exemplo que foi usado para ilustrar a propagação de incertezas nas primeiras aulas da disciplina. Este exemplo versava sobre a calibração de um sensor de distância localizado na parte frontal de um veículo para que o sistema eletrônico monitorasse se tal veículo em movimento estaria a uma distância segura de outro que estivesse à sua frente numa rodovia. Assim posto, Elaine teve o intuito de ilustrar que: se na calibração do arranjo experimental houve um acréscimo de um por cento ao erro experimental devido a

uma pequena variação na medida da distância, então, se algo parecido ocorresse com a calibração do sensor do carro, isso resultaria no mesmo acréscimo de um por cento de chance de haver colisão. Já Mário fez uma analogia com a área médica. Fica evidente que os dois compreenderam a relevância de se ter obtido o acréscimo de um por cento no erro referente ao cálculo de uma medida indireta devido a uma diferença de 0,10 cm numa medida direta. O fato deles procurarem articular essa magnitude do erro com conhecimentos internalizados anteriormente é o que chama bastante a atenção nas suas considerações.

No quadro seguinte está exposta a categorização das ações dos estudantes da terceira etapa do experimento realizado.

Quadro 6: Categorização das unidades de sentido da etapa 3.

UNIDADES DE SENTIDO	CATEGORIAS		
	1-Ações Algorítmicas	2-Ações Silogísticas	3-Ações Heurísticas
1-Execução de protocolos		Elaine (F11E3 e F25E3) Lucas (F12E3) Emerson (F18E3; F20E3; F23E3)	Emerson (F13E3; F15E3; F31E3) Mário (F26E3; F29E3) Alex (F27E3) Elaine (F28E3; F32E3)
2-Atribuição do erro aos instrumentos e/ou aos procedimentos		Alex (F7E3) Elaine (F6E3) Mário (F8E3) Lucas (F24E3; F36E3)	Elaine (F33E3; F35E3; F42E3) Mário (F34E3; F43E3) Anderson (F37E3) Emerson (F38E3; F41E3) Lucas (F39E3) Alex (F1E3; F5E3; F40E3)
3-Articulação entre modelo teórico e execução experimental	Anderson (F4E3)	Alex (F9E3) Elaine (F10E3)	Elaine (F2E3) Anderson (F3E3)

Fonte: Autoria própria.

O questionamento do Anderson (F4E3), a partir da observação do elemento comum entre os arranjos experimentais nas três etapas (lançador horizontal), ilustra, como destacado anteriormente, a intensidade de vinculação que os estudantes fazem entre o arranjo e o fenômeno analisado, como ocorrido na segunda etapa do experimento (F1E2 e F3E2). Isso porque mesmo já tendo ocorrido uma discussão na etapa anterior de que o fenômeno físico estudado continuava sendo o mesmo e reforçado no início da aula referente à terceira etapa,

essa vinculação ainda persistiu. Portanto, categorizamos essa ação como sendo algorítmica (U3C1) por causa desse movimento imediato de associação entre o arranjo experimental e o fenômeno analisado possuir traços de uma ação condicionada. Tal argumento é sustentado porque, de modo geral, para cada prática experimental realizada nas atividades laboratoriais há um arranjo experimental específico para investigar o fenômeno físico de interesse.

Com relação às ações nas quais estavam envolvidas a articulação entre o modelo teórico e a execução experimental da categoria silogística, reunidas em U3C2, estas possuem a característica em comum de que tal articulação se deu por intermédio das considerações feitas pelo professor em aula ou pelas informações contidas no roteiro. De fato, a comparação feita por Alex (F9E3) e, por conseguinte, a feita pela Elaine (F10E3) entre os arranjos experimentais, foi realizada por meio dos subsídios fornecidos pelo professor e pelo roteiro. Suas considerações sobre a dimensão da esfera interferir na forma como seria registrada a detecção desta, por meio dos sensores que compõem os arranjos, foi fundamentada na articulação que eles fizeram entre as prerrogativas do modelo teórico (cujo termo da velocidade refere-se ao do centro de massa) e a implementação dessa prerrogativa no experimento.

Já as considerações reunidas em U3C3 (Articulação entre modelo teórico e execução experimental - Categoria Heurística), estão nesta categoria por não ter sido feita menção alguma (seja pelo professor, seja pelo roteiro) ao tipo de movimento (MRU ou MRUV) que a esfera estaria submetida. Anderson (F3E3) e Elaine (F2E3), embasados em seus conhecimentos anteriores à aula em questão, fizeram seus apontamentos a respeito do comprimento do percurso horizontal do lançador ser maior do que daquele usados nas etapas anteriores e concluíram que esta característica possibilitava que a esfera permanecesse mais tempo em MRU.

As falas arregimentadas em U1C2 (Execução de protocolos – Categoria Silogística) são aquelas que possuem a característica de atender aos protocolos definidos pelo roteiro, porém, como posto anteriormente: a execução desses protocolos pode ser feita de forma mais mecânica ou por meio de uma ação através da qual é possível utilizar de um processo dedutivo e/ou interpretativo para pôr em prática o procedimento definido pelo roteiro. Desse modo, pelo fato de estar escrita

no roteiro a orientação sobre a maneira de realizar o registro do tempo gasto pela esfera para percorrer a distância entre os sensores, as considerações apresentadas foram alocadas nesta categoria. A sinergia de ideias entre os estudantes tinha como ponto de apoio as definições apresentadas tanto pelo roteiro quanto pelo professor. A análise feita sobre a forma de registro do tempo entre os dois arranjos só foi fundamentada depois do professor ter detalhado melhor o funcionamento do sensor infravermelho. Além disso, grande parte do debate entre os estudantes estava circunscrito às linhas de comando contidas no *sketch* e que foram implementadas ao microcontrolador que compõe a placa arduino, com o objetivo de atender a orientação do roteiro para a definição da tensão elétrica sobre o resistor.

Com o intuito de ampliar a compreensão dessa categorização, vamos fazer um contraste entre as ações reunidas em U1C2 (Execução de protocolos – Categoria Silogística) e U1C3 (Execução de protocolos-Categoria heurística). Com base nas considerações feitas no parágrafo anterior, percebe-se que nas ações reunidas em U1C2, o cerne destas foi conseguir medir a tensão elétrica seguindo um protocolo pré-estabelecido pelas linhas de comandos, ao passo que as reunidas em U1C3, os estudantes elaboraram estratégias para otimizar a mensuração desta grandeza elétrica. Por exemplo: na consideração feita por Mário (F26E3), ele procurou uma estratégia para executar aquela ação em que o núcleo do debate entre ele, Elaine e Alex foi no estabelecimento de um critério pelo qual a medida da grandeza indicada pelo roteiro seria feita. A catástase dessa ação possui um movimento cognitivo vigoroso, pois, em nossa perspectiva, é necessário conjecturar sobre como os dispositivos que compõem o arranjo poderiam se comportar frente ao fenômeno (passagem da esfera sobre estes), e como as linhas de comando do código (que monitoram a tensão elétrica) fariam o processamento da captação dessa informação. Não estaríamos muito distantes da realidade em dizer que os estudantes executaram, uma conversão mecânica/elétrica. Dito de outra forma, eles fizeram o papel de um tradutor. E da mesma forma que este profissional precisa ter tanto uma boa base dos idiomas que vai trabalhar, quanto de possuir a habilidade de interpretação, os estudantes precisaram ter uma boa noção sobre o tipo de movimento que a esfera realiza (MRU ou MRUV) (informação mecânica) como da maneira de detecção dos sensores (informação elétrica) para

realizarem as modificações cabíveis nas linhas de comando que estabeleciam as ordens para que o microcontrolador as executasse. Outro fato que fundamenta essa assertiva é a sugestão dada por Emerson (F13E3) a respeito de uma rotina destinada às interrupções no arduíno, conhecida como *Interruption Service Routine*, para melhorar a precisão da medida da tensão elétrica. Essa sugestão, estendendo a metáfora usada aqui, é o movimento análogo que um tradutor faz quando num dos idiomas possui mais de uma palavra para designar uma atitude. É necessário um movimento interpretativo robusto para escolher a melhor expressão dentro do contexto da frase. E é por esta perspectiva que estamos avaliando que a sugestão feita por Emerson possui uma articulação de raciocínio proeminentemente heurística.

É necessário reforçar que no roteiro havia apenas a orientação de que a grandeza tensão elétrica deveria ser medida. Contudo, a forma pela qual essa ação seria executada ficou a cargo do planejamento dos estudantes. Por isso que, embora seja uma ação para atender um protocolo descrito no roteiro, tal ação precisou da elaboração de um processo metodológico.

As falas reunidas em U2C3 (Atribuição do erro aos instrumentos e/ou procedimentos-Categoria heurística) referem-se àquelas ações em que os estudantes, por meio de critérios que fundamentassem seus apontamentos, consideraram que os procedimentos executados, assim como os instrumentos que compunham o arranjo experimental, fariam parte dos fatores que poderiam explicar a divergência entre os resultados previsto pelo modelo teórico e o que foi calculado através dos dados coletados pelo equipamento calibrado por eles. Não obstante a relação entre o erro experimental e o posicionamento do centro de massa já tivesse sido posto em discussões anteriores, a atitude da Elaine (F33E3) em solicitar para que os colegas modificassem - paulatinamente - a posição da esfera e verificar o comportamento do erro foi bastante relevante. Essa atitude pressupõe a elaboração de um procedimento para verificar suas conjecturas sobre o quanto uma pequena variação no posicionamento da esfera estava influenciando no erro experimental. Além disso, sua consideração feita mais adiante (F42E3) na qual ela valeu-se de uma analogia para explicar sua compreensão acerca da magnitude do erro calculado, surpreendeu o professor. Isso porque comumente, após a obtenção do

resultado numérico do erro experimental, o debate (e quando há) tende a ficar circunscrito acerca da atribuição das causas desses erros. Portanto, a ação da Elaine assim como a do Mário (F43E3) de explicar, por meio de uma analogia, o que eles compreenderam sobre o fato de ter havido o aumento de um por cento no erro experimental devido a uma pequena modificação na distância entre os sensores, representa um movimento cognitivo sofisticado. De fato, como destacado por Mozzer e Justi (2015), a analogia pode ser definida como sendo:

[...] comparações que propiciam o estabelecimento de relações entre um domínio familiar, denominado base (GENTNER, 1983), fonte (HOLYOAK; THAGARD, 1995), análogo (DUI, 1991; GLYNN, 1991) e outro não familiar ou pouco familiar, denominado alvo (GENTNER, 1983; GLYNN, 1991; HOLYOAK; THAGARD, 1995). (MOZZER; JUSTI, 2015, p. 124)

Ademais, as autoras discutem em sua pesquisa sobre a analogia como sendo um processo de raciocínio (MOZZER; JUSTI, 2015). Portanto, de acordo com o que foi posto, quando Elaine e Mário utilizaram o domínio que lhes era familiar (risco de acidente para Elaine e risco de morte para Mário) para expressar sua compreensão acerca do que representaria em termos práticos um aumento de um por cento no erro do experimento realizado (alvo), pode ser caracterizado como uma ação de natureza heurística.

Já os apontamentos feitos por Alex sobre a marcação das alturas (F1E3 e F5E3) precisam ser justificadas por terem sido alocadas na categoria das ações heurísticas. Embora suas considerações tenham sido pautadas na perspectiva de que os equipamentos manufaturados possuam uma maior precisão (como discutido anteriormente), o seu movimento espontâneo (já que não havia sido instigado pelo professor ou suscitado pelo roteiro) de comparar os arranjos experimentais e esquadrinhá-los para investigar suas diferenças fundamentou a escolha de categorizá-las como sendo ações proeminentemente heurísticas. Não estaríamos muito deslocados da realidade em dizer que ele se valeu do método comparativo, por meio do qual fundamentou sua articulação de ideias a respeito das etapas que o processo de calibração poderia passar. De modo a fundamentar essa assertiva, podemos citar Fachin (2005):

O método comparativo consiste em investigar coisas ou fatos e explicá-los segundo suas semelhanças e suas diferenças. Permite

a análise de dados concretos e a dedução de semelhanças e divergências de elementos constantes, abstratos e gerais, propiciando investigações de caráter indireto. (FACHIN, 2005, p. 40)

Com respeito à sugestão do Mário (F34E3) de modificar a esfera e submetê-la ao teste após calibrar o equipamento, remete a uma percepção bastante aguda com respeito ao procedimento que foi executado: explorar os limites do equipamento com o intuito de verificar o domínio de sua ação. Essa ação pressupõe uma análise comparativa entre os elementos (neste caso o tipo de esfera) usados para a calibração do equipamento com elementos diferentes e verificar se este preserva, dentro de certa precisão, as mesmas medidas quando feitas com o elemento usado na calibração. De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia (2012), podemos afirmar que essa ação é compatível com a definição de precisão intermediária ou condição de reprodutibilidade (VIM, 2012, p. 21). Embora não seja possível afirmar que o estudante estivesse agindo em conformidade com os pressupostos da metrologia, seu movimento espontâneo, em testar uma esfera diferente daquela utilizada na calibração, sugere uma conexão entre pensamentos de natureza mais heurística. Da mesma forma, fundamentamos nossa interpretação a respeito da conclusão da Elaine. Além dela compreender tanto o que Mário havia proposto quanto os meandros do processo de calibração, ela embasou sua explicação do porquê o teste não ter dado certo.

As conjecturas formuladas pelo Lucas (F36E3), sobre as possíveis causas das divergências entre os resultados obtidos, subsidiaram o engendramento de uma maneira de suavizar esse problema na execução do experimento sugeridas por ele (F39E3). O que chamou atenção nas sugestões de implementação apresentadas por Lucas (F39E3) foi a riqueza de detalhes nos seus apontamentos. Não foram apenas indicações sobre a necessidade de melhoramento na forma de soltar a esfera. Ele definiu os materiais e os métodos (pensamento estratégico) para solucionar o problema identificado por ele. Da mesma forma aconteceu com a proposta do Alex (F40E3), na qual ele avaliou sua sugestão ao propor um mecanismo para largar a esfera que não fosse eletrônico. Ambas considerações (Lucas e Alex) pressupõem um raciocínio estratégico para contornar uma dificuldade no procedimento experimental. E ainda temos a consideração feita por

Anderson (F37E3), que deixou o professor bastante satisfeito. Isso porque a incerteza combinada-padrão (VIM, 2012) é uma grandeza que dificilmente os estudantes, sem a orientação do professor, conseguem relacionar no processo experimental. Embora Anderson tenha expressado (da perspectiva da equação que define essa grandeza) a relação matemática que não condiz com a que é definida para seu cálculo, sua sugestão de representar a incerteza no posicionamento da esfera por meio de uma combinação (da incerteza instrumental e pela avaliação da fração do diâmetro da esfera) foi proveniente de uma articulação entre o conhecimento formal sobre as incertezas e o que tinha sido percebido e debatido com respeito ao posicionamento da esfera.

As sugestões do Emerson (F42E3) possuem o mesmo nível de minúcias das apresentadas por Lucas. Percebe-se de imediato o seu cabedal de conhecimentos provenientes da área de seu interesse profissional e como ele conseguiu adaptá-lo e aplicá-lo ao arranjo experimental. A sinergia de suas ideias, a respeito tanto do hardware (componentes físicos do arranjo) quanto do *software* (compostas pelas linhas de comando do *sketch* e pela interface de comunicação serial), foi bastante robusta e evidencia uma articulação de conhecimentos que, além dele apontar as incertezas instrumentais e as causas dos erros experimentais, ele buscou encontrar soluções que contribuíssem na melhoria da precisão da coleta dos dados por meio do arranjo experimental construído.

Do que foi posto acerca das ações reunidas em U2C3 (Atribuição do erro aos instrumentos e/ou aos procedimentos – Categoria Heurística), podemos confrontá-las com as que foram reunidas em U2C2 (Atribuição do erro aos instrumentos e/ou aos procedimentos-Categoria silogística) para que por meio dessa comparação possamos estabelecer as principais diferenças entre estas. Não custa nada lembrar que as categorias foram definidas usando o modelo dos *continuums* para os conteúdos procedimentais. Por conseguinte, nada há de absoluto na arregimentação das falas nas categorias aqui definidas, já que não há limites rígidos das ações localizadas sobre o *continuum*. Posto desta forma, a atribuição dos erros aos instrumentos que compõem o arranjo experimental, assim como ao procedimento executado (e que tenha sido feita por meio das definições dadas pelo professor em aula ou pelo roteiro) foram categorizadas como sendo

silogísticas. A consideração da Elaine (F6E3) estar nessa categoria é devido seu raciocínio está fundamentado na consideração do Alex (F5E3). Não estamos querendo dizer com isso que as conclusões da Elaine estão incorretas, porém, que não foram acompanhadas de uma fundamentação que não tenha sido definida antes em aula. Podemos aplicar os mesmos argumentos quando Alex (F7E3) discutiu que o modo de registro do tempo poderia influenciar nos resultados. Ele continuou considerando que os sensores ópticos que compunham o arranjo do laboratório eram mais precisos, e pelo fato de ter sido usado outro dispositivo para executar a detecção da esfera os resultados seriam modificados. Ressaltamos novamente que sua consideração foi coerente e verossímil. Mas a sua justificativa para atribuir antecipadamente ao equipamento construído a divergência nos resultados é que não configura uma ação heurística.

Nas considerações do Emerson (F23E3), foi percebido por ele que o erro sistemático do tempo de reação humano, presente em todas as práticas experimentais que necessitam da medida do tempo feita pelo experimentador, poderia ser eliminado do processo de coleta dos dados. Entretanto, apesar de ter havido um processo de interpretação, essa conclusão foi construída a partir das discussões e definições feitas em aula. Já a explicação do Lucas (F36E3) sobre o erro relacionado ao posicionamento da esfera, demonstrou uma atenção nas minúcias envolvidas no procedimento executado. Ele percebeu que o modo de largar a esfera também estava imprimindo uma variação no resultado. Porque, de acordo com o que foi percebido por ele, em certo momento poderia ter sido dado algum impulso no momento de largar a esfera, assim como ao passo de cada repetição poderia ter ocorrido uma variação da maneira como esta foi largada. Contudo, nas suas considerações, ele ficou circunscrito a explicar os fatores que poderiam influenciar na divergência dos resultados, porém, baseados nas discussões em aula.

Vale a pena lembrar ainda que, após o processo de calibração e execução dos ensaios experimentais, os estudantes retomaram algumas de suas considerações acerca dos erros atribuídos aos instrumentos descrevendo-as com maior detalhe, além de sugerirem estratégias para eliminar ou suavizar os efeitos

dos fatores apontados por eles: Elaine (F33E3), Lucas (F39E3) e Emerson (F41E3). Dessa forma, essas ações foram reunidas como sendo de natureza heurística.

No quadro que segue, estão expostas todas as falas apresentadas neste capítulo. O objetivo com a apresentação desse quadro é permitir uma visão panorâmica das ações em cada etapa. A codificação de cores foi colocada para facilitar a visualização de cada etapa do experimento e, respectivamente, são: etapa 1 – amarelo; etapa 2 – verde; etapa 3 – branco.

Quadro 7: Panorama da distribuição das unidades de sentido e das categorias.

UNIDADES DE SENTIDO	CATEGORIAS		
	1-Ações Algorítmicas	2-Ações Silogísticas	3-Ações Heurísticas
1-Execução de protocolos	Mário (F1E1; F3E1) Lucas (F5E1) Emerson (F1E2; F3E2)	Emerson (F5E2; F18E3; F20E3; F23E3) Poliana (F4E2) Elaine (F11E3; F25E3) Lucas (F12E3)	Emerson (F13E3; F15E3; F31E3) Mário (F26E3; F29E3) Alex (F27E3) Elaine (F28E3;F32E3)
2-Atribuição do erro aos instrumentos e/ou aos procedimentos	Mário (F11E2) Emerson (F18E2)	Anderson (F10E1) Elaine (F11E1) Anderson (F12E1) Alex (F7E3) Elaine (F6E3) Mário (F8E3) Lucas (F24E3; F36E3)	Elaine (F33E3; F35E3; F42E3) Mário (F34E3; F43E3) Anderson (F37E3) Emerson (F38E3; F41E3) Lucas (F39E3) Alex (F1E3; F5E3; F40E3)
3-Articulação entre modelo teórico e execução experimental	Anderson (F4E3)	Emerson (F7E1) Alex (F15E1; F17E1; F9E3) Lucas (F2E2) Anderson (F12E2) Poliana (F14E2 e F15E2) Mário (F16E2) Ronaldo (F19E2) Elaine (F8E2; F10E3)	Nelson (F7E2) Elaine (F2E3) Anderson (F3E3)

Fonte: Autoria própria.

É possível perceber que as ações provenientes da etapa três estão distribuídas de forma mais concentrada nas categorias silogística e heurística. Fundamentados nesse fato, podemos considerar que há fortes indícios de que a abordagem didática executada, usando a automação do arranjo experimental como meio para aprendizagem dos conteúdos procedimentais, permitiu que os estudantes pudessem fazer a travessia da margem das ações proeminentemente algorítmicas para aquelas com características mais heurísticas.

Pelo fato de estarmos no arremate de nossas discussões, acreditamos ser importante ressaltar mais uma vez que: pelo fato de o lastro teórico que foi utilizado como lente pela qual analisamos os dados estar embasado no conceito de *continuums*, a categorização das ações dos estudantes nas três etapas do experimento em nada tem de rígida ou absoluta. Como há um amplo gradiente de variações, é possível haver, sem dúvidas, uma reorganização dessas ações de acordo com os critérios adotados para a definição das categorias.

Considerações Finais

De tudo o que foi exposto sobre as funções atribuídas ao laboratório didático, consideramos que este é um ambiente rico e que tem a capacidade de fomentar as três dimensões da aprendizagem: conceitual, atitudinal e procedimental. Neste trabalho colocamos uma lente sobre os conteúdos da aprendizagem cujo foco foi sobre sua dimensão procedimental. Reforçamos mais uma vez que essas dimensões constituem uma tríade indissociável do processo de aprendizagem e que, pelo fato de termos dado ênfase aos conteúdos procedimentais, não significa que estamos desconsiderando que as outras características não estejam presentes nas ações descritas e analisadas nesta pesquisa.

Outro ponto relevante a respeito da diversidade de funções que são atribuídas ao laboratório didático, é que devido a essa própria diversidade é que este ambiente tem contribuído de forma marcante com o processo de aprendizagem no ensino de ciências. Além disso, procuramos ponderar que não é necessário eleger uma das características que lhes são atribuídas e explorar as atividades práticas seguindo procedimentos que estejam circunscritos aos critérios definidos para tais características. Refletimos que há um amplo espectro de atividades práticas que podem ser desenvolvidas neste ambiente e que através das quais é possível dar ênfase a alguma das funções que lhes são atribuídas. Contudo, o que se tem observado, em geral, é de tratar esse ambiente como sendo apenas um assessor das disciplinas teóricas. Desperdiçando, dessa forma, recursos valiosos do tesouro encerrado neste ambiente de aprendizagem.

Devido ao avanço tecnológico das últimas décadas ter possibilitado o acesso a dispositivos eletrônicos com certa facilidade, a implementação de aparatos desenvolvidos por meio da automação ganhou muita força neste mesmo intervalo de tempo. A prototipagem tem se tornado uma ação relevante no âmbito dos laboratórios didáticos. Nesta pesquisa, todavia, o uso da automação na calibração de um arranjo experimental no laboratório didático de física, em contraste com outros trabalhos pesquisados, não foi tratado como tendo apenas o propósito de tornar a coleta de dados automática. A automação foi considerada apenas como um barco por meio do qual o condutor (professor) intermedeia a travessia feita pelos estudantes das margens dos conhecimentos procedimentais proeminentemente

algorítmicos às margens daqueles mais heurísticos. Além disso, tínhamos como proposta que a utilização da automação nas disciplinas experimentais de física pudesse ser o liame entre o conhecimento físico propriamente dito e o repertório teórico dos estudantes referentes à sua área de atuação. E, de fato, no transcurso da aula na qual foi utilizado o processo de calibração do arranjo construído, foi bastante perceptível o ânimo e a diligência com que os estudantes empregaram neste processo. Assim, a automação, na qualidade de estratégia didática, contribuiu não apenas para a aprendizagem de conteúdos procedimentais dos estudantes de engenharia de computação, mas também para a intermediação da discussão sobre as incertezas instrumentais e erros experimentais e para um diálogo entre a área de interesse profissional dos estudantes com o conteúdo de física propriamente dito.

A despeito da abordagem experimental desenvolvida nesta pesquisa ter gerado um entusiasmo nos estudantes, vale ressaltar que: apesar da análise dos resultados tenha nos conduzido a considerar de que há fortes indícios de que a automação tenha subsidiado contribuições para a aprendizagem de conteúdos procedimentais, não estamos considerando que a automação como estratégia didática venha a ser a maneira pela qual solucionar-se-á todos os obstáculos enfrentados, tanto pelo professor quanto pelos estudantes, no processo de aprendizagem desses conteúdos. Isso porque consideramos a automação apenas como uma estratégia didática e, como toda estratégia, possui certas limitações.

Desse modo, é possível delinear alguns limites para essa abordagem na condução das aulas laboratoriais, por exemplo: nem todo conteúdo tem a possibilidade de ser abordado do ponto de vista experimental com estratégias próprias da automação, seja pela complexidade da implementação ou pela limitação de recursos. Em geral, a limitação de recursos é uma consequência direta da complexidade de implementação, porque é necessário investir maior aporte monetário em dispositivos de maior sensibilidade e precisão; outro parâmetro limitador é o tempo disponível para a exploração de algum conteúdo de física, pois, o processo de calibração requer certo número de repetições. E, após este processo, é necessário submeter o arranjo aos ensaios para a coleta de dados destinado à análise. Entretanto, é preciso deixar claro que estamos falando de

limitação e não de impossibilidade. Outra limitação é a saturação do próprio procedimento. Queremos dizer com isso que essa abordagem experimental seguidamente nas atividades práticas planejadas para um semestre letivo pode tornar-se enfadonho, como em qualquer outra atividade quando esta é repetida certo número de vezes.

Dentre tantos fatores que caracterizam o laboratório didático, sobretudo quando ele está comprometido com a aprendizagem das particulares práticas relativas a esse contexto, há que se destacar, especificamente, a necessidade de dedicação do docente no planejamento do experimento.

Como pôde se acompanhar no desenvolvimento deste trabalho, esta investigação foi motivada justamente pela insatisfação do professor com o fato de que seus estudantes realizavam os experimentos mecanicamente, sem uma compreensão sobre os procedimentos experimentais necessários para cotejar resultados obtidos com a prática e o modelo teórico que descreve o fenômeno. Ou seja, os cálculos realizados pelos estudantes quanto às incertezas propagadas, bem como ao cálculo do erro absoluto, não eram problematizados pelos estudantes na medida em que não se propunham a uma análise crítica do que esses valores representavam. Era evidente, portanto, a grande dificuldade dos estudantes no processo de interpretação dos resultados estatísticos, bem como na consideração das exigências impostas pelos modelos teóricos na tomada de dados no laboratório. Estes fatores trouxeram ao professor, ao longo de sua carreira, grande insatisfação e, ao mesmo tempo, uma busca para criar condições efetivas no laboratório didático para mudar essa situação que se impunha ano após ano.

Foi nesta perspectiva que o professor concebeu outro arranjo experimental, além daquele que já fazia parte do laboratório, apostando que este novo arranjo que, ao agregar um processo de calibração para esse arranjo de modo a viabilizar a automação da tomada de dados, poderia contribuir para a aprendizagem de conteúdos procedimentais e, assim, para uma postura crítica em relação aos resultados experimentais obtidos. Ou seja, esta iniciativa do professor indica seu compromisso com a aprendizagem dos estudantes e, em contrapartida, com seu próprio desenvolvimento profissional.

O trabalho de Barolli et al (2019) apresenta um esquema suportado por um conjunto de dimensões que se propõe a subsidiar a análise de processos de desenvolvimento profissional de professores de Ciências. Tendo como referência este trabalho é possível afirmar que o professor se desenvolveu em algumas das dimensões que os autores definem e descrevem. Há que se esclarecer que o processo de desenvolvimento profissional, ainda em acordo com os autores, se configura como um processo no qual a produção de novos saberes se efetiva pelo diálogo com interlocutores que a nosso ver condicionam a atividade docente: a Academia, a Instituição Escolar e a Sociedade.

No caso do professor aqui focalizado, é possível afirmar que o diálogo com a Academia foi fundamental para que ele pudesse se desenvolver profissionalmente em relação a atualização de seus conhecimentos pedagógicos. Não se pode deixar de considerar que o desenvolvimento profissional do professor nesta dimensão foi decisivo para que no percurso das três etapas do experimento os estudantes apresentassem avanços significativos no que diz respeito à aprendizagem das práticas procedimentais. A implicação do professor em informar-se e refletir sobre conhecimentos e avanços na área de Educação e de Ensino de Ciências, tais como abordagens alternativas para as atividades experimentais, análise e produção de materiais didáticos, ensino por investigação, utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação, também se revelou fundamental no avanço alcançado pelos estudantes.

É possível, portanto, afirmar que no desenvolvimento de seu projeto o professor questionou as rotinas que até então vinham conduzindo suas aulas de laboratório, a ponto de enveredar-se na atualização de suas práticas de ensino, inovar em termos metodológicos, e, desse modo, desenvolvendo-se na dimensão organização e condução do ensino. Isso só pôde se efetivar pela constante reflexão do professor sobre sua própria prática, bem como ao considerar as representações prévias dos estudantes e seus diferentes níveis de aprendizagem. Não se pode deixar de mencionar, por exemplo, as mudanças importantes que foram realizadas nos roteiros que até então se constituíam em um material de extrema rigidez organizacional, sem qualquer espaço para reflexão dos estudantes. Ao contrário, o

professor renovou a apresentação dos roteiros numa perspectiva bem mais próxima de uma natureza investigativa.

Além disso, a condução das atividades no laboratório contou com seu incentivo ao debate entre os estudantes, por meio de questões bastante pertinentes e, ao mesmo tempo, oferecendo oportunidades para que os estudantes se manifestassem. Durante as aulas teve o cuidado de manter um acompanhamento da aprendizagem, criando condições que facilitaram a exposição dos estudantes, que os desafiaram para além daquilo que já conheciam. Neste sentido é possível afirmar que houve desenvolvimento em outra dimensão, qual seja, a de sustentação da aprendizagem, uma dimensão que se filia mais estreitamente ao processo de aprendizagem e menos ao de ensino.

A sustentação da aprendizagem por parte do professor implica numa atuação na qual ele se coloca como porta voz da cultura científica por um lado, mas por outro mantém um acompanhamento da ação pedagógica no sentido de zelar pelo esforço do estudante em seu processo de aprendizagem. Em outras palavras, requer do professor que ele reconheça no aluno sua potencialidade criativa e invista em sua capacidade e direito de autoria em pensamento e ação, procurando respeitar, inclusive, suas demandas. (Barolli et al, 2019, p. 186)

Pode-se afirmar com segurança que em todas as etapas da atividade experimental o professor procurou incentivar a cooperação entre os alunos, propor questões problematizadoras e, ainda, valorizar as opiniões e os argumentos dos alunos.

Finalmente, há que se salientar que todo o investimento do professor, não apenas em relação ao tempo necessário para preparar os experimentos, bem como para buscar soluções inovadoras a favor da aprendizagem dos estudantes, é recompensado pelos avanços por eles alcançados no que se refere à aprendizagem dos procedimentos próprios de atividades experimentais no laboratório didático.

Referências

- ALVES FILHO, J. P. **Atividades experimentais: do método à prática Construtivista**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2000.
- ARAÚJO, W. M.; CAVALCANTE, M. M.; SILVA, R. O. Visão geral sobre microcontroladores e prototipagem com arduino. **Revista Tecnologias em Projeção**, v.10, n.1, 2019, p. 36-46.
- BAROLLI, E.; LABURÚ, C.E.; GURIDI, V. M. Laboratorio didáctico de ciencias: caminos de investigación. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v.9, n.1, 2010, p. 88-110.
- BAROLLI, E.; NASCIMENTO, W.E.; MAIA, J. O.; VILAN, A. Desarrollo profesional de profesores de ciencias: dimensiones de análisis. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. v. 18, n 1, 2019, p. 173-197.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto Editora, 1999.
- BRASIL. Ministério da educação. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia**. Brasília, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=12991>. Acesso em: 6 abr. 2019.
- CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H. Ensino e aprendizagem de física no ensino médio e a formação de professores. **Estudos Avançados**. v. 94, n. 32, 2018.
- CASSORLA, R. M. S. Prefácio. **Tratado da Metodologia da pesquisa clínico-qualitativa: construção teórico-epistemológica, discussão comparada e aplicação nas áreas da saúde e humanas**. Petrópolis, RJ: Vozes pp. 685, 2003.
- CURY, F. G. De Narrativas a Análises Narrativas: reflexões sobre a análise de depoimentos em pesquisas de história da educação (matemática). **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.6, n.1, p. 143-164, 2013.
- DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. **Science Education**, vol.75, n.6, p.649-672, 1991.

FACHIN, O. **Fundamentos de Metodologia**. 5ª edição. São Paulo. Editora Saraiva, 2005.

FALCOMER, V. A. S.; GUIMARÃES, E. M.; SILVA, D. K. S. **O desenvolvimento de conteúdos procedimentais e atitudinais por meio do ensino por investigação em uma unidade didática sobre densidade**. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC – 3 a 6 de julho de 2017.

GENTNER, D. Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, vol.7, n.2, p.155-170, 1983.

GLYNN, S.M. Explaining science concepts: a teaching-with-analogies model. In: GLYNN, S.M.; YEARNY, R.H.; BRITTON, B.K. (Orgs.). **The Psychology of Learning Science**. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum, 1991. p.219-240.

GRANDINI, N. A.; GRANDINI, C. R. Os objetivos do laboratório didático na visão dos alunos do curso de licenciatura em física da UNESP-Bauru. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 26, n. 3, p. 251-256, jun. 2004.

HOLYOAK, K. J.; THAGARD, P. **Mental leaps: Analogy in creative thought**. Cambridge: Bradford, 1995.

LUCIANO, A. P. G. **A Robótica Educacional e a Plataforma Arduino: Estratégias Construcionistas para a Prática Docente**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, 2017.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia**. 1ª Edição Luso-Brasileiro. Rio de Janeiro, 2012.

MARINELI, F. **Um interpretação para as dificuldades enfrentadas pelos estudantes num laboratório didático de física**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Intituto de Química e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MACEDO, S. A. R. **Limites e possibilidades da inserção de discussões epistemológicas no laboratório didático na perspectiva de licenciandos de física da universidade federal de goiás**. Dissertação (Mestrado em Educação em

Ciências e Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Matemática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. Rio de Janeiro: Abrasco, 2004.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, v. 12, n. 1, p. 117-128, 2006.

MOZZER, N. B. “Nem tudo que reluz é ouro”: Uma analogia sobre analogias e outras similaridades e recursos utilizados no ensino de ciências. **Revista Brasileira de Educação em Ciências**. vol. 15, n. 1, 2015.

NADUR, A.V. **A lapidação de gemas no panorama brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Mineralogia e Petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2009.

POZO, J. I. **Aprendizes e Mestres: A nova cultura da aprendizagem**. 5ª. ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

POZO, J. I.; CRESPO, M.A.G. **A Aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5ª. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

OLIVEIRA, T. S. F. O silogismo perfeito em Aristóteles. **Argumentos**. Fortaleza, ano 8, n. 16, p. 50-60, jul./dez. 2016.

ROSA, C. W. Concepções teórico-metodológicas no laboratório didático de física na universidade de passo fundo. **Rev. Ensaio**. Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 249-108, out. 2003.

VERAS, R. M.; LEMOS, D. V. S. MACEDO, B. T. F. A trajetória da criação dos Bacharelados Interdisciplinares na Universidade Federal da Bahia. **Avaliação**. Campinas; Sorocaba, v. 20, n. 3, p. 621-641, nov. 2015.

VOLPATO, V. C.; AGUIAR, J. A. de; REIS, J. M. C. dos. A construção de conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais: contribuições de uma Oficina Temática sobre Investigação Criminal. **Actio: Docência em Ciência**. Curitiba, v. 2, n. 3, p. 249-269, out./dez. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO. **Projeto político pedagógico do curso de bacharelado interdisciplinar em ciência e tecnologia.** Mossoró: UFERSA, 2019. Disponível em: <https://cetpaudosferros.ufersa.edu.br/projeto-pedagogico-do-curso-ppc/>. Acesso em: 12 out. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO. **Projeto político pedagógico do curso de bacharelado em tecnologia da informação.** Pau dos Ferros: UFERSA, 2014. Disponível em: <https://tecnologiadainformacaopaudosferros.ufersa.edu.br/projeto-pedagogico/>. Acesso em: 12 out. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO. **Projeto político pedagógico do curso de engenharia de computação.** Pau dos Ferros: UFERSA, 2018. Disponível em: <https://engcomputacaopaudosferros.ufersa.edu.br/apresentacao/>. Acesso em: 12 out. 2020.

YAMAZAKI, S. C.; YAMAZAKI, R. M. O. Experimentos no ensino de física: um olhar de viés epistemológico. **Revista Exitus.** Santarém/PA, v. 7, n. 3, p. 38-63, set./dez. 2017.

ZABALA, A. **Como trabalhar os conteúdos procedimentais em aula.** 2. ed. Porto Alegre: Artimed, 1999.

Anexos

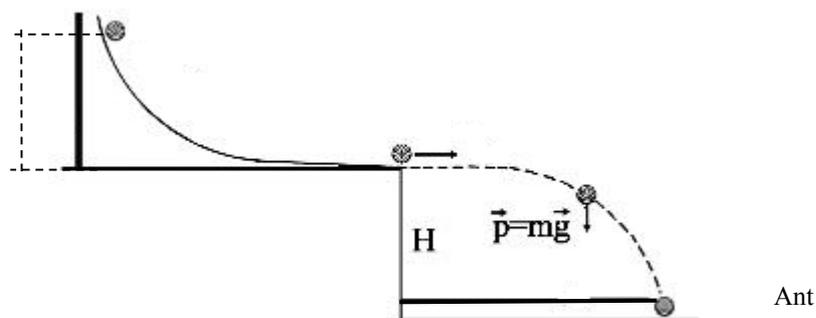
Anexo 1 - Roteiro da atividade experimental sobre lançamento oblíquo e conservação da energia mecânica

Atividade Experimental

Lançamento Oblíquo e Conservação da Energia Mecânica

Considere uma esfera largada de uma altura h num plano inclinado, como ilustrado pela figura abaixo.

Figura 1: Esquema do aparato experimental.



Quando a esfera atinge a borda do plano inclinado, essa é lançada com uma velocidade v_x . É possível realizar a estimativa dessa velocidade a partir de duas perspectivas: pela lei da conservação da energia mecânica e pela cinemática usando as equações que descrevem o lançamento oblíquo.

Usando o modelo físico da conservação da energia mecânica, a velocidade de lançamento da esfera é calculada através da expressão:

$$v_x = \sqrt{2gh}, \quad (1)$$

onde g e h são, respectivamente, a aceleração da gravidade e a altura em relação à base do plano da qual a esfera é largada (Figura 1).

Por outro lado, analisando a mesma situação por meio das equações que descrevem o lançamento oblíquo, a velocidade v_x é calculada através da expressão¹:

$$v_x = x \sqrt{\frac{g}{2H}}, \quad (2)$$

onde x é o alcance e H é a altura do plano inclinado em relação ao anteparo (Figura 1).

Podemos materializar um arranjo experimental semelhante ao representado na Figura 1, de modo a obter o valor da velocidade de lançamento da esfera por meio de medidas diretas das alturas h e H bem como do alcance x .

No que diz respeito à execução do experimento, escolha um ponto sobre o plano inclinado do qual a esfera será largada (h) e a altura (H) que o plano ficará em relação ao anteparo. Após definir essas grandezas largue a esfera e faça a medida do alcance (x). Para os mesmos valores de h e H , realize um ensaio com cinco repetições e preencha a tabela abaixo.

¹ Como exercício, deduza a equação (2) tomando como ponto de partida as equações da cinemática.

Tabela 1

	x (cm)
h (cm) =	
H(cm) =	
\bar{x} (cm) = S_x (cm) =	

A partir do modelo da conservação da energia mecânica (equação 1), calcule a velocidade de lançamento da esfera e através da regra de propagação de incertezas, calcule a incerteza associada.

$$v_x \text{ (m/s)} = \underline{\hspace{2cm}} \quad (3)$$

$$s_{v_x} \text{ (m/s)} = \underline{\hspace{2cm}} \quad (4)$$

Agora, partindo do modelo cinemático (equação 2), calcule a velocidade de lançamento e através da regra de propagação de incertezas, calcule a incerteza associada.

$$v_x \text{ (m/s)} = \underline{\hspace{2cm}} \quad (5)$$

$$s_{v_x} \text{ (m/s)} = \underline{\hspace{2cm}} \quad (6)$$

Compare os resultados obtidos em (3) e (5) e escreva suas percepções acerca dos resultados obtidos.

Anexo 2 - Roteiro da atividade experimental sobre conservação da energia mecânica de corpos em rolamento

Atividade experimental

Conservação da Energia Mecânica para Corpos em Rolamento

No experimento anterior foi feito o cálculo da velocidade de lançamento de uma esfera por meio do modelo proveniente das equações da cinemática para o lançamento oblíquo e do modelo da conservação da energia mecânica. Este último foi utilizado sem levar em conta a energia cinética de rotação.

Nesta atividade será analisado o mesmo fenômeno físico que é a velocidade de lançamento da esfera. Porém, o modelo que será utilizado terá a energia cinética de rotação incorporada. A figura abaixo ilustra o arranjo experimental por meio do qual será feita a coleta dos dados.

Figura 1: Ilustração do arranjo experimental.



Para um corpo em rolamento, temos que sua energia cinética é dada por:

$$K_{Total} = K_{CM} + K_{ROT} , \quad (1)$$

em que K_{CM} e K_{ROT} são, respectivamente, a energia cinética do centro de massa e a energia cinética rotacional do corpo em rolamento. As expressões que descrevem essas energias são dadas por:

$$K_{CM} = \frac{mv_{CM}^2}{2} \quad (2)$$

$$K_{ROT} = \frac{I\omega^2}{2} \quad (3)$$

Considerando que v_{CM} seja a velocidade do centro de massa, ω seja a velocidade angular e I o momento de inércia de uma esfera maciça, podemos mostrar (usando o princípio da conservação da energia) que a velocidade de lançamento desta esfera é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{10gh}{7}}, \quad (4)$$

em que g é a aceleração local da gravidade e h é a altura que a esfera é largada em relação ao ponto de referência do lançador.

Com o lançador horizontal montado, acople os sensores ópticos do multicronômetro digital com ilustrado na Figura 1. Faça a medida da distância entre os sensores e anote seu valor x (cm) = _____. Em seguida faça a medida do diâmetro da esfera, d (cm) = _____. Selecione uma altura em relação ao nível zero do lançador e posicione a esfera neste ponto. Faça a leitura do tempo gasto pela esfera para percorrer a distância entre os sensores.

Repita o procedimento cinco vezes e preencha a tabela 1.

Tabela 1

h (cm) =	t (s)
$\bar{x} (s) =$ $S_t (s) =$	

A partir da expressão: $v = \frac{d}{t}$, onde d é a distância entre os sensores e t é o tempo médio das medidas realizadas, calcule a velocidade de lançamento e use a regra de propagação de incertezas para estimar a incerteza associada.

$$v_x \text{ (cm/s)} = \underline{\hspace{4cm}} \quad (4)$$

$$s_{v_x} \text{ (cm/s)} = \underline{\hspace{4cm}} \quad (5)$$

Calcule o valor da velocidade de lançamento usando o princípio da conservação da energia mecânica. E através da regra de propagação de incertezas, calcule a incerteza desta estimativa.

$$v_x \text{ (cm/s)} = \underline{\hspace{4cm}} \quad (6)$$

$$s_{v_x} \text{ (cm/s)} = \underline{\hspace{4cm}} \quad (7)$$

Compare os valores obtidos através das equações (4) e (6) e discuta esse resultado.

Anexo 3 - Roteiro da atividade experimental sobre conservação da energia mecânica de corpos em rolamento usando automação

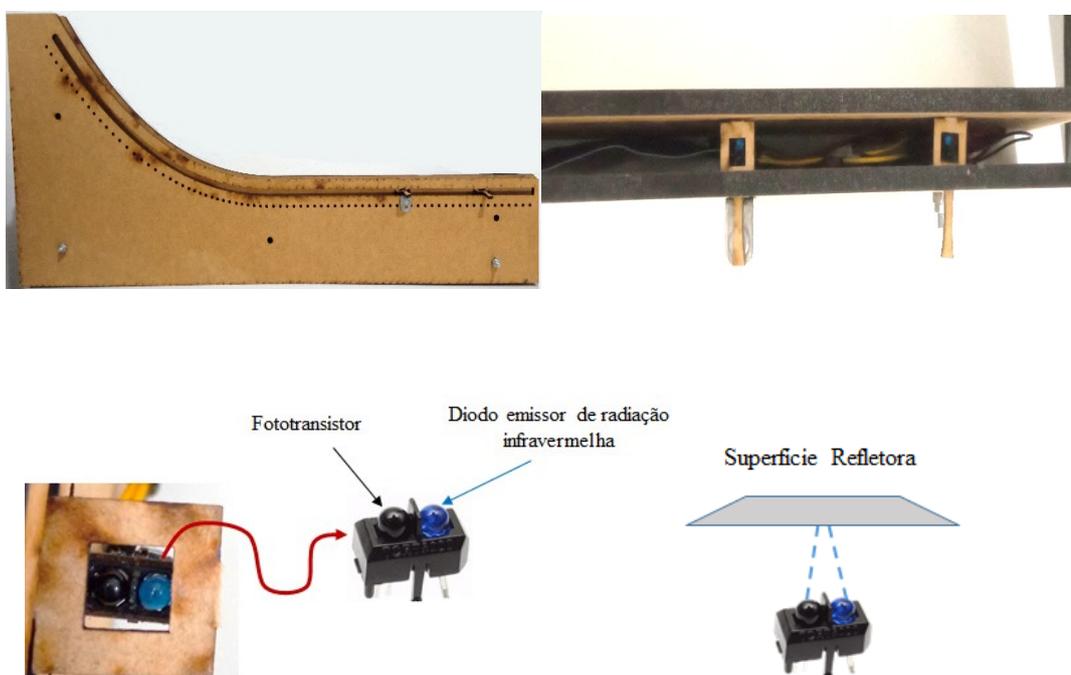
Atividade Experimental

Conservação da Energia Mecânica para Corpos em Rolamento usando Automação

Na atividade anterior foi feita a medida da velocidade de lançamento de uma esfera tomando como base duas perspectivas: uma pela equação proveniente do modelo teórico da conservação da energia mecânica, com a incorporação do termo da energia cinética de rotação, e a outra através da equação da cinemática para um corpo em movimento retilíneo uniforme.

Vamos nesta atividade explorar o mesmo tema e investigar a mesma grandeza por meio de outro arranjo experimental. Este será composto por um plano inclinado, sensores infravermelhos e por uma placa arduino como ilustrado na figura abaixo.

Figura 1: Componentes do arranjo experimental.



Em primeiro lugar, faremos um reconhecimento dos componentes desse arranjo. Os sensores infravermelhos possuem o papel de disparadores da

contagem de tempo feita pelo microcontrolador que compõe a placa arduino. Entretanto, é necessário observar a mudança na tensão elétrica sobre o resistor (conectado em série com os receptores) no momento em que a esfera rola sobre esses.

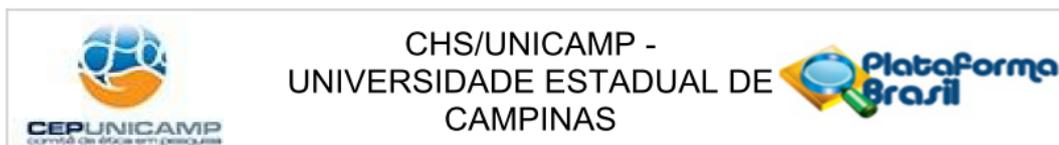
Com relação ao algoritmo que fará o gerenciamento das ações do microcontrolador, as linhas de comando que o compõem serão disponibilizadas para as alterações que você julgar pertinentes. Faça o registro dos motivos de suas alterações.

Outra grandeza importante para ser observada e registrada é a distância entre os sensores e o diâmetro da esfera utilizada. As etapas descritas até aqui compõem o processo de calibração do arranjo experimental. Após esse processo, o procedimento experimental será o mesmo que foi executado na atividade anterior, porém, com a diferença de que agora estará sendo feita a automação da coleta dos dados, assim como dos cálculos da velocidade, da incerteza propagada e do erro experimental. Esses resultados serão apresentados em tempo real por meio da interface entre a placa arduino e o *software* de planilha eletrônica.

Antes de executar o experimento, reflita e registre sobre as possíveis melhorias e limitações que este arranjo pode trazer em relação ao anterior. Feito isso, que procedimento(s) você considera necessário(s) para realizar as medidas das grandezas diretas que possibilitem o cálculo da velocidade de lançamento da esfera pelos dois métodos descritos anteriormente? Registre suas considerações acerca dos requisitos necessários para a tomada de dados.

Efetue o experimento e compare os resultados registrados na planilha no que diz respeito ao erro experimental com a incerteza propagada e escreva as suas percepções acerca dos resultados obtidos.

Anexo 4 – Aprovação do Comitê de Ética



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Contribuição da automação no laboratório didático de física para a aprendizagem de conteúdos procedimentais no curso de engenharia de computação.

Pesquisador: JOSE WAGNER CAVALCANTI SILVA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 41324620.3.0000.8142

Instituição Proponente: Programa de Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.566.962

Apresentação do Projeto:

A proposta de pesquisa, de nível de doutorado, é investigar se há indícios de que desenvolver atividades de automação de experimentos de física possa facilitar a aprendizagem dos conteúdos procedimentais, em especial, o tratamento e interpretação das incertezas experimentais. O ambiente a ser investigado será o laboratório de mecânica clássica do Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros (CMPF) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) sediado na cidade de Pau dos Ferros no estado do Rio Grande do Norte. A pesquisa visa à compreensão dos fenômenos inerentes ao processo de aprendizagem a partir de um contato com os sujeitos investigados utilizando abordagens interpretativas. O grupo de pesquisa inclui 15 alunos do curso de engenharia da computação. A entrevista será gravada em mídia audiovisual e transcrita posteriormente para análise e produção de narrativas.

Objetivo da Pesquisa:

Investigar a contribuição de uma abordagem experimental focada no processo de automação de experimentos para a aprendizagem do dimensionamento das incertezas experimentais, em particular no caso da conservação da energia mecânica de objetos em rolamento dos conteúdos programáticos de física do curso de engenharia de computação. Inclui-se a proposta de construção de um kit automatizado para explorar experimentos relativos ao movimento de corpos em rolamento.

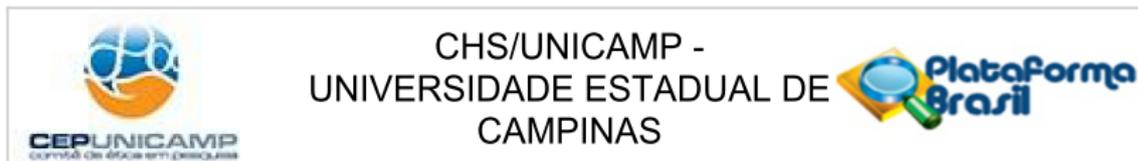
Endereço: Av. Bertrand Russell, 801, 2º Piso, Bloco C, Sala 5, Campinas-SP, Brasil.

Bairro: Cidade Universitária "Zeferino Vaz" **CEP:** 13.083-865

UF: SP **Município:** CAMPINAS

Telefone: (19)3521-6836

E-mail: cepchs@unicamp.br



Continuação do Parecer: 4.566.962

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Não há riscos previsíveis. A pesquisa ocorrerá na Universidade Federal Rural do Semi-Árido com alunos do curso de engenharia da computação. As entrevistas serão gravadas e transcritas. A transcrição dos excertos será disponibilizada para averiguação e mesmo edição, pelos participantes. Os dados desta pesquisa serão armazenados em um arquivo de mídia digital com acesso pelos participantes durante e ao final da pesquisa. Todo material será mantido permanentemente em um banco de dados de pesquisa, com acesso restrito, sob a responsabilidade do pesquisador coordenador e de sua orientadora, para utilização em pesquisas futuras, sendo necessário, para isso, novo contato com os participantes para o seu consentimento específico para a nova pesquisa. Além disso, na divulgação dos resultados do estudo, o nome dos participantes não será citado e a identificação se dará por um nome fictício.

Não há benefícios diretos aos participantes. O benefício esperado é a melhora das condições de aprendizagem no laboratório didático de mecânica clássica que atende anualmente cerca de duzentos alunos por ano.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Este protocolo se refere ao Projeto de Pesquisa "41324620.3.0000.8142 - Contribuição da automação no laboratório didático de física para a aprendizagem de conteúdos procedimentais no curso de engenharia de computação." cujo pesquisador responsável é JOSE WAGNER CAVALCANTI SILVA. A pesquisa foi enquadrada na Área Grande área 7: Ciências Humanas e embasará a pesquisa de doutorado pesquisador. Segundo as Informações Básicas do Projeto, a pesquisa será desenvolvida com recursos próprios. O cronograma apresentado contempla o início da 01/01/2021 (Organização do campo de análise dos dados) com termino em 30/03/2021. Serão abordados ao todo 15 participantes.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram analisados os seguintes documentos de apresentação obrigatória: 1 – Folha de Rosto Para Pesquisa Envolvendo Seres Humanos: devidamente apresentado. 2 – Projeto de Pesquisa: devidamente apresentado. 3 – Orçamento financeiro – de acordo com o pesquisador a pesquisa será realizada com recursos próprios. 4 – Cronograma – o início da 01/01/2022 (Organização do campo de análise dos dados), com termino em 31/03/2022. 5 - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido: Foi apresentado. 6 - Carta de Autorização para pesquisa na Universidade Federal Rural do Semi-Árido: foi apresentado.

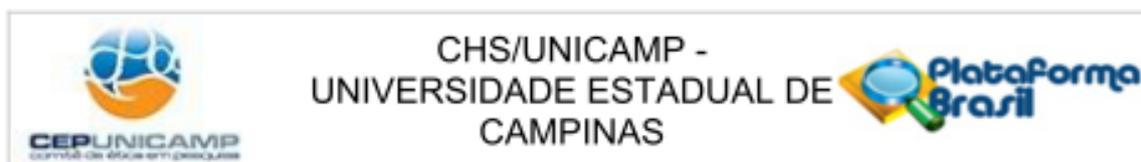
Endereço: Av. Bertrand Russell, 801, 2º Piso, Bloco C, Sala 5, Campinas-SP, Brasil.

Bairro: Cidade Universitária "Zeferino Vaz" **CEP:** 13.083-865

UF: SP **Município:** CAMPINAS

Telefone: (19)3521-6836

E-mail: cepchs@unicamp.br



Continuação do Parecer: 4.566.962

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

1. Inserir o contato da orientadora no TCLE, que é o contato fixo dos participantes na Unicamp;
2. Indicar no TCLE previsão de quanto tempo dura a entrevista.

O protocolo foi considerado aprovado neste CEP mediante as alterações listadas acima. Caso não tenha autorizações institucionais pendentes ou centros co-participantes, pode ser iniciado.

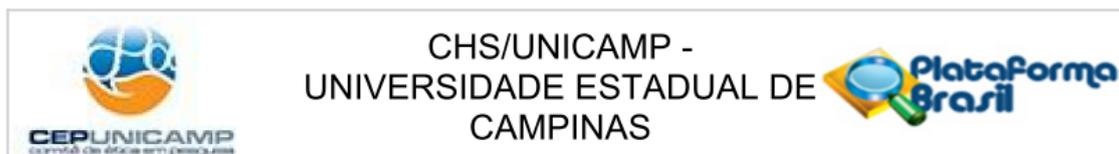
Não estão sob o escopo deste parecer

- Eventuais alterações documentais realizadas sem aviso prévio e/ou não solicitadas pelo CEP em forma de pendência ou de recomendação;
- Dados coletados sem as adequações descritas acima;
- Dados coletados em data anterior a este parecer;
- Caso, eventualmente, os dados sejam coletados com autorizações institucionais pendentes (se necessário);
- Caso, eventualmente, os dados sejam coletados sem a aprovação/autorização do centro co-participante (se necessário).
- Relatório final deve ser apresentado ao CEP via notificação ao término do estudo.

Considerações Finais a critério do CEP:

1. Vale lembrar que a interação com os participantes de pesquisa só pode ser iniciada a partir da aprovação desse protocolo no CEP. Os cronogramas de geração/coleta de dados deve acompanhar o relatório final de pesquisa.
2. Cabe enfatizar que, segundo a Resolução CNS 510/16, Art.28 Inciso IV, o pesquisador é responsável por "(...) manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período mínimo de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa".
3. O participante da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado. (Res.510/16, Cap.III, Art.9, inciso II).
4. A responsabilidade de obtenção de registro de consentimento, bem como o de sua guarda, é de inteira responsabilidade da equipe de pesquisa. Tais documentos podem ser solicitados a qualquer momento pelo sistema CEP-CONEP para fins de auditoria, bem como servem de proteção para os

Endereço: Av. Bertrand Russell, 801, 2º Piso, Bloco C, Sala 5, Campinas-SP, Brasil.
Bairro: Cidade Universitária "Zeferino Vaz" **CEP:** 13.083-865
UF: SP **Município:** CAMPINAS
Telefone: (19)3521-6836 **E-mail:** cepchs@unicamp.br



Continuação do Parecer: 4.566.962

próprios pesquisadores em caso de eventuais denúncias por parte dos participantes.

5. Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas e aguardando a aprovação do CEP para continuidade da pesquisa.

6. Relatório final deve ser apresentado ao CEP via notificação ao término do estudo.

7. Caso a pesquisa seja realizada ou dependa de dados a serem observados/coletados em uma instituição (ex. empresas, escolas, ONGs, entre outros), essa aprovação não dispensa a autorização dos responsáveis. Caso não conste no protocolo no momento desta aprovação, estas autorizações devem ser submetidas ao CEP em forma de notificação antes do início da pesquisa.

8. Vale também ressaltar o Art. 3º, inciso VIII da Resolução 510/16: "São princípios éticos das pesquisas em Ciências Humanas e Sociais: VIII - garantia da não utilização, por parte do pesquisador, das informações obtidas em pesquisa em prejuízo dos seus participantes;"

9. O papel do CEP é proteger e garantir os direitos do participante de pesquisa. Está além das funções e das capacidades técnicas do CEP a validação jurídica de documentos como termos de cessão de uso/reprodução de imagem e voz e demais tipos de autorizações.

10. As declarações preenchidas na Plataforma Brasil são feitas sob pena da incidência nos artigos 297-299 do Código Penal Brasileiro sobre a falsificação de documento público e falsidade ideológica, respectivamente.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1606526.pdf	13/02/2021 20:04:06		Aceito
Outros	Carta_Resposta_CEP_4539407.pdf	13/02/2021 20:00:22	JOSE WAGNER CAVALCANTI SILVA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de	TCLE_V2_Resposta_ao_Parecer_CEP_4539407.pdf	13/02/2021 19:58:54	JOSE WAGNER CAVALCANTI SILVA	Aceito

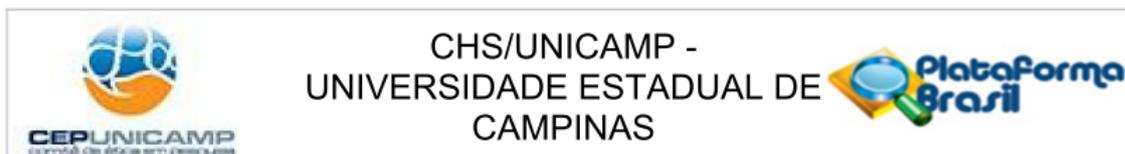
Endereço: Av. Bertrand Russell, 801, 2º Piso, Bloco C, Sala 5, Campinas-SP, Brasil.

Bairro: Cidade Universitária "Zeferino Vaz" **CEP:** 13.083-865

UF: SP **Município:** CAMPINAS

Telefone: (19)3521-6836

E-mail: cepchs@unicamp.br



Continuação do Parecer: 4.566.962

Ausência	TCLE_V2_Resposta_ao_Parecer_CEP_4539407.pdf	13/02/2021 19:58:54	JOSE WAGNER CAVALCANTI SILVA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_V2_Resposta_Parecer_CEP_4539407.pdf	13/02/2021 19:57:39	JOSE WAGNER CAVALCANTI SILVA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	AtestadoMatricula.pdf	11/12/2020 23:38:56	JOSE WAGNER CAVALCANTI SILVA	Aceito
Outros	Carta_autorizacao.pdf	19/11/2020 13:16:12	JOSE WAGNER CAVALCANTI SILVA	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto_assinada.pdf	19/11/2020 11:37:07	JOSE WAGNER CAVALCANTI SILVA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

CAMPINAS, 01 de Março de 2021

Assinado por:
Thiago Motta Sampaio
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Bertrand Russell, 801, 2º Piso, Bloco C, Sala 5, Campinas-SP, Brasil.

Bairro: Cidade Universitária "Zeferino Vaz" **CEP:** 13.083-865

UF: SP **Município:** CAMPINAS

Telefone: (19)3521-6836

E-mail: cepchs@unicamp.br

Anexo 5 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Contribuição da automação no laboratório didático de física para a aprendizagem de conteúdos procedimentais no curso de engenharia de computação

José Wagner Cavalcanti Silva

Número do CAAE: 41324620.3.0000.8142

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa. Este documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, visa assegurar seus direitos como participante da pesquisa e é elaborado em duas vias, assinadas e rubricadas pelo pesquisador e pelo participante/responsável legal, sendo que uma via deverá ficar com você e outra com o pesquisador.

Por favor, leia com atenção e calma, aproveitando para esclarecer suas dúvidas. Se houver perguntas antes ou mesmo depois de assiná-lo, você poderá esclarecê-las com o pesquisador. Se preferir, pode levar este Termo para casa e consultar seus familiares ou outras pessoas antes de decidir participar. Não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo se você não aceitar participar ou retirar sua autorização em qualquer momento.

Justificativa e objetivos:

Um dos objetivos dos laboratórios didáticos de física é o desenvolvimento dos conteúdos procedimentais. Muitas pesquisas demonstram a dificuldade dos alunos em conseguir interpretar as incertezas experimentais dos resultados obtidos. O cálculo das incertezas experimentais e a sua interpretação fazem parte das habilidades pertencentes aos conteúdos procedimentais. Dessa forma, busca-se desenvolver uma sequência didática (tomando como base a automação) que facilite a aprendizagem dos conteúdos procedimentais referentes ao correto dimensionamento das incertezas experimentais e sua compreensão.

Procedimentos:

Nesta pesquisa, o relatório redigido por você poderá ter trechos extraídos para a análise de modo a alicerçar os argumentos que darão suporte à hipótese da pesquisa.

Rubrica do pesquisador: _____ Rubrica do participante: _____

Participando do estudo você está sendo convidado a: Contar para mim como foi experienciar a sequência didática proposta nesta pesquisa . Esta entrevista será gravada em mídia audiovisual e transcrita posteriormente para análise e produção de narrativas.

Observações:

- Será um encontro único, em local previamente combinado e com duração de acordo com a sua disponibilidade, geralmente de uma a poucas horas de conversa.
- Após a transcrição os excertos serão disponibilizados para averiguação e mesmo edição, caso você assim prefira.

Os dados desta pesquisa serão armazenados em um arquivo de mídia digital ao qual você terá acesso durante e ao final da pesquisa. Todo material será mantido permanentemente em um banco de dados de pesquisa, com acesso restrito, sob a responsabilidade do pesquisador coordenador e de sua orientadora, para utilização em pesquisas futuras, sendo necessário, para isso, novo contato para que você forneça seu consentimento específico para a nova pesquisa.

Desconfortos e riscos:

Dentre os possíveis desconfortos e riscos associados a essa pesquisa elencamos os seguintes:

- Pode ser que você sinta sua privacidade invadida durante a entrevista, neste caso interromperemos a entrevista no momento em que você se sentir desconfortável;
- Pode ser que estejamos tomando seu tempo ao realizar a entrevista.

Benefícios:

Esta pesquisa não oferece benefícios diretos aos participantes, porém, traz o benefício indireto de melhorar as condições de aprendizagem no laboratório de mecânica clássica que atende mais de duzentos alunos por ano.

Acompanhamento e assistência:

Você tem o direito à assistência integral e gratuita devido a danos diretos e indiretos, imediatos e tardios, pelo tempo que for necessário. Caso você precise de assistência eu, José Wagner Cavalcanti Silva, me responsabilizo pelos possíveis gastos.

Rubrica do pesquisador: _____ Rubrica do participante: _____

Para tanto basta que você entre em contato comigo. Durante a entrevista será possível parar e retomar a gravação a qualquer momento. Após a gravação os excertos transcritos serão entregues a você para autorização final. Nem todas as partes da entrevista constituirão narrativas, apenas as que apresentem relações com o objeto de pesquisa deste projeto de doutorado. Durante o processo de escrita da tese você será informado sobre os trechos que utilizaremos podendo solicitar que alteremos ou excluamos caso você não concorde com a utilização desses trechos. Desta forma você poderá acompanhar o que foi será feito com os dados que me forneceu. Após a defesa da tese e publicação do texto final uma cópia será enviada para você, como agradecimento.

Sigilo e privacidade:

Você tem a garantia de que sua identidade será mantida em sigilo e nenhuma informação será dada a outras pessoas que não façam parte da equipe de pesquisadores que é composta apenas pelo pesquisador responsável e sua orientadora Elisabeth Barolli. Na divulgação dos resultados desse estudo, seu nome não será citado. A identificação se dará por um nome fictício.

Ressarcimento e Indenização:

Você terá a garantia ao direito à indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa, sendo que eu, José Wagner Cavalcanti Silva serei o responsável por indenizá-lo.

Contato:

Em caso de dúvidas sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com a pesquisador, José Wagner Cavalcanti Silva, via e-mail josewagner@ufersa.edu.br , telefone ou whatsapp (84) 99988-7960.

Em caso de denúncias ou reclamações sobre sua participação e sobre questões éticas do estudo, você poderá entrar em contato com a secretaria do Comitê de Ética em Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais - CEP-CHS da UNICAMP das 08h30 às 11h30 e das 13h00 às 17h00, vinculado à Pró-Reitora de Pesquisa e instituído em 2016 pela Portaria PRP 08/2016, localizado à Faculdade de Educação, Av. Bertrand Russell, 801, 2º Piso, Bloco C, Sala 5, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Campinas-SP, Brasil. CEP 13083-865. Telefone: +55 19 3521-6836 e e-mail: cepchs@unicamp.br.

Rubrica do pesquisador: _____ Rubrica do participante: _____

O Comitê de Ética em Pesquisa (CEP).

O papel do CEP é avaliar e acompanhar os aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos. A Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), tem por objetivo desenvolver a regulamentação sobre proteção dos seres humanos envolvidos nas pesquisas. Desempenha um papel coordenador da rede de Comitês de Ética em Pesquisa (CEPs) das instituições, além de assumir a função de órgão consultor na área de ética em pesquisas. O CEP-CHS é um comitê específico, dentro da Faculdade de Educação, voltado à análise de projetos de Ciências Humanas.

Consentimento livre e esclarecido:

Após ter recebido esclarecimentos sobre a natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos, benefícios previstos, potenciais riscos e o incômodo que esta possa acarretar, aceito participar:

Nome do (a) participante:

(Assinatura do participante)

Data: ____/____/____.

Responsabilidade do Pesquisador:

Asseguro ter cumprido as exigências da resolução 466/2012 CNS/MS e complementares na elaboração do protocolo e na obtenção deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Asseguro, também, ter explicado e fornecido uma via deste documento ao participante da pesquisa. Informo que o estudo foi aprovado pelo CEP perante o qual o projeto foi apresentado e pela CONEP, quando pertinente. Comprometo-me a utilizar o material e os dados obtidos nesta pesquisa exclusivamente para as finalidades previstas neste documento ou conforme o consentimento dado pelo participante da pesquisa.

Rubrica do pesquisador: _____ Rubrica do participante: _____

(Assinatura do pesquisador)

Data: ____ / ____ / ____.

Rubrica do pesquisador: _____ Rubrica do participante: _____