

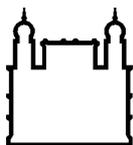
MINISTÉRIO DA SAÚDE  
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ  
INSTITUTO OSWALDO CRUZ

Doutorado em Ensino de Biociências e Saúde

CONTRIBUIÇÕES DAS IMAGENS ESTROBOSCÓPICAS E DA  
VIDEOANÁLISE PARA A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

MARCO ADRIANO DIAS

Rio de Janeiro  
Janeiro de 2018



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

## **INSTITUTO OSWALDO CRUZ**

**Programa de Pós-Graduação em Ensino de Biociências e Saúde**

*MARCO ADRIANO DIAS*

*Contribuições das imagens estroboscópicas e da videoanálise para a alfabetização científica*

Tese apresentada ao Instituto Oswaldo Cruz como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ensino de Biociências e Saúde

**Orientador (es):** Profa. Dra. Deise Miranda Vianna - Brasil  
Prof. Dr. Paulo Simeão Carvalho - Portugal

**RIO DE JANEIRO**

Janeiro de 2018

DIAS, MARCO ADRIANO .

CONTRIBUIÇÕES DAS IMAGENS ESTROBOSCÓPICAS E DA VIDEOANÁLISE PARA A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA / MARCO ADRIANO DIAS. - Rio de Janeiro, 2018.

249 f.; il.

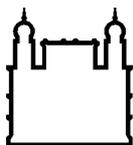
Tese (Doutorado) - Instituto Oswaldo Cruz, Pós-Graduação em Ensino em Biociências e Saúde, 2018.

Orientadora: DEISE MIRANDA VIANNA.

Co-orientador: PAULO SIMEÃO CARVALHO.

Bibliografia: f. 169-175

1. VIDEOANÁLISE. 2. ENSINO POR INVESTIGAÇÃO. 3. ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA. 4. ARGUMENTAÇÃO. 5. CRONOFOTOGRAFIA. I. Título.



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

## **INSTITUTO OSWALDO CRUZ**

**Programa de Pós-Graduação em Ensino de Biociências e Saúde**

**AUTOR: MARCO ADRIANO DIAS**

### **CONTRIBUIÇÕES DAS IMAGENS ESTROBOSCÓPICAS DE DA VIDEOANÁLISE PARA A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA**

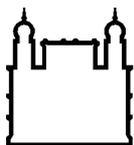
**ORIENTADOR (ES): Prof. Dra. Deise Miranda Vianna  
Prof. Dr. Paulo Simeão Carvalho**

**Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_**

#### **EXAMINADORES:**

<b>Prof. Dr. Tânia Cremonini de Araújo-Jorge - Presidente</b>	(IOC/FIOCRUZ)
<b>Prof. Dr. Lúcia Rodriguez de La Rocque – Revisora</b>	(IOC/FIOCRUZ)
<b>Prof. Dra. Mirian Struchiner – Examinadora externa</b>	(NUTES/UFRJ)
<b>Prof. Dr. Hélio Salim de Amorim – Examinador externo</b>	(IF/UFRJ)
<b>Prof. Dr. Marcus Vinicius Pereira – Suplente externo</b>	(IFRJ)

Rio de Janeiro, 02 de fevereiro de 2018



Ministério da Saúde

**FIOCRUZ**

**Fundação Oswaldo Cruz**

**Anexar a cópia da Ata que será entregue pela SEAC já assinada.**

Dedico este trabalho a todas as pessoas que, com perseverança, trabalham pela construção de um mundo mais justo, onde o bem prevaleça sobre o mal, a saúde sobre a doença, a paz sobre a guerra; pessoas que contribuem para uma sociedade mais igualitária em seus acessos, mais distributiva em suas riquezas, mais tolerante em suas diferenças e menos corrupta em seus sistemas.

## **AGRADECIMENTOS**

Às pessoas que leram criticamente as versões anteriores desta tese e que contribuíram para que ela evoluísse até o ponto em que está: professor Marco Costa, professora Tânia Araújo-Jorge, professora Miriam Struchiner, professor Marcus Vinicius Pereira, professora Conceição Barbosa Lima e professora Lúcia de La Rocque;

Aos meus orientadores, professora Deise e professor Simeão, com quem tive oportunidade de conviver, aprender e desenvolver algumas habilidades necessárias para seguir adiante após esta etapa de formação;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – pela oportunidade em realizar parte desta formação na Universidade do Porto, onde pude aprofundar os conhecimentos sobre as técnicas da videoanálise, de elaboração de intervenções didáticas baseadas em vídeo e de produção de artigos científicos (Processo BEX 3275/15–9);

Aos colegas professores e colaboradores na produção acadêmica durante esta jornada: Daniel Rodrigues Ventura, Marcelo José Rodrigues, Gabriela Fernandes, Marcos Gaspar, Antônio Gonçalves e Carlos Alberto Ferreira;

Ao Gabriel Moreira Dias, meu filho, que, além de me inspirar, me ajudou colaborando nas filmagens e me acompanhou em toda a jornada durante esses quatro anos de formação, no Brasil e em Portugal.

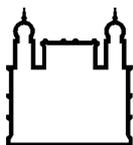
Aos meus familiares que me ajudaram durante os momentos em que precisei estar ausente para a participação em congressos, simpósios e encontros: Rosângela Machado (mãe), Rosane Machado (tia), Henrique Machado (irmão) e Adriana Dias (prima).

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro pelo apoio institucional à minha formação; à coordenação dos professores Almir Guedes e Vitor Jesus que colaborou para que essa formação ocorresse concomitantemente à minha prática docente; ao professor Eduardo Seperuelo pelo compartilhamento dos equipamentos utilizados para esta tese e aos colegas que ajudaram na redução da carga horária, tanto na etapa do sanduiche quanto na reta final: Artur Vilar, Almir Guedes, Eduardo Seperuelo e Vitor Jesus;



Nessa terra vastidão, tanto a fazer. Mãos dispostas e opressão, labirintos a esconder. Galhos secos guardando a vida, esperanças retorcidas que teimam verdejar. É preciso acreditar em tudo que não se vê, estações inaugurar. Quem se faz semente faz brotar os sonhos, alimenta, mata a fome de crença no homem. Finque os pés no chão, transforme em raiz o próprio coração. Ague o seu pulsar para jamais murcharem os olhos de ver, verdejar. Dividir o sol, para multiplicar a luz para os quintais. É vacina o suor da lida voraz, faz vivo se manter. Fértil o solo em razões, para as novas canções, que venham anunciar o fim da velha estação, partilhar a beleza dos sons. É preciso acreditar em tudo o que não se vê. Estações inaugurar e verdejar, verdejar, verdejar...

*Verdejar*  
*Amanda Barbosa e Glauco Rodrigues*



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

## **INSTITUTO OSWALDO CRUZ**

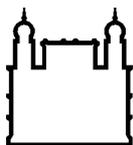
### **CONTRIBUIÇÕES DAS IMAGENS ESTROBOSCÓPICAS E DA VIDEOANÁLISE PARA A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA**

#### **RESUMO**

#### **TESE DE DOUTORADO EM ENSINO DE BIOCÊNCIAS E SAÚDE**

**Marco Adriano Dias**

Há muito se discute a importância das atividades prático-experimentais para uma aprendizagem na qual o estudante possa se apropriar de elementos conceituais, epistemológicos e sociais do conhecimento científico. Para isso, os professores utilizam vídeos para a observação fenomenológica sistemática em suas aulas, dentre outras ferramentas pedagógicas. Nesse sentido, as imagens estroboscópicas e a videoanálise são recursos didáticos produzidos a partir de vídeos de corpos em movimento e, por isso, ampliam o espectro de movimentos que podem ser propostos e estudados em sala de aula. Dentro deste contexto, apresentamos nesta tese os resultados de uma pesquisa que verificou se esses recursos têm potencial para a educação científica. A pesquisa aqui apresentada, se inicia com um levantamento histórico da invenção da cronofotografia e suas aplicações no contexto da Arte, da Ciência e do Ensino de Ciências, quando então passaram a se chamar imagens estroboscópicas; e prossegue, na forma de artigos, com exemplos de contextos de aprendizagem possíveis com a videoanálise e as imagens estroboscópicas. Com objetivo de verificar como a utilização desses recursos didáticos colaboram para a Alfabetização Científica, elaboramos uma intervenção didática, com metodologia de ensino por investigação, cujo tema foi a queda dos corpos. Durante a intervenção, as interações discursivas entre os alunos foram gravadas para serem posteriormente auscultadas e transcritas, a fim de identificar os Indicadores de Alfabetização Científica e da presença de Padrões Argumentativos de Toulmin. Os resultados evidenciaram que houve argumentação pelos alunos e, a partir dos Indicadores de Alfabetização Científica, foi revelado de que forma os alunos construíram esses mesmos argumentos. Os resultados obtidos com os sujeitos da pesquisa foram satisfatórios para a utilização dos recursos e da metodologia de ensino investigativo a fim de promover a Alfabetização Científica.



Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz

## **INSTITUTO OSWALDO CRUZ**

### **CONTRIBUTIONS OF STROBE IMAGES AND VIDEO ANALYSIS TO SCIENTIFIC LITERACY**

#### **ABSTRACT**

#### **PHD THESIS IN BIOCÊNCIAS E SAÚDE**

**Marco Adriano Dias**

The importance of practical-experimental activities for a learning process in which the student can appropriate conceptual, epistemological and social elements of scientific knowledge has long been discussed. Thus, teachers use videos for systematic phenomenological observation in their classes, among other pedagogical tools. In this sense, stroboscopic images and video analysis are didactic resources produced from videos of moving bodies and, therefore, they broaden the spectrum of movements that can be proposed and studied in the classroom. In this context, we present in this thesis the results of a research that verified if these resources have potential for scientific education. The research presented here begins with a historical review of the invention of chronophotography and its applications in the context of Art, Science and Science Teaching, when they began to be called stroboscopic images; and continues, in the form of articles, with examples of possible learning contexts with video analysis and stroboscopic images. With the purpose of verifying how the use of these didactic resources collaborate for the Scientific Literacy, we elaborated a didactic intervention, with methodology of Inquiry-based teaching, whose theme was the fall of the bodies. During the intervention, the discursive interactions among the students were recorded for later listening and transcription, in order to identify the Scientific Literacy Indicators and the presence of Toulmin's Argumentative Patterns. The results showed that there was argumentation by the students and, from the Indicators of Scientific Literacy, it was revealed how the students constructed the same arguments. The results obtained with the research subjects were satisfactory for the use of the resources and the methodology of Inquiry-base teaching to promote Scientific Literacy.

## SUMÁRIO

---

1. O CAMINHO QUE NOS TROUXE ATÉ AQUI.....	1
2. DAS CRONOFOTOGRAFIAS À VIDEOANÁLISE: UM CAMINHO PELA ARTE E PELA CIÊNCIA.....	14
3. POR QUE UTILIZAR IMAGENS ESTROBOSCÓPICAS E VIDEOANÁLISE PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA?.....	32
3.1. O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO NA PERSPECTIVA DA PESQUISA EM ENSINO.....	42
3.2. A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA COMO META.....	49
3.3. INTERVENÇÕES DIDÁTICAS DE INVESTIGAÇÃO BASEADA EM VÍDEO.....	56
3.4. EXEMPLO DE UMA INTERVENÇÃO DIDÁTICA DE INVESTIGAÇÃO BASEADA EM VÍDEO – O CASO DO LANÇAMENTO OBLÍQUO.....	62
3.4.1. Proposição do problema aos alunos.....	63
3.4.2. Etapa da observação.....	64
3.4.3. Investigando o movimento com a videoanálise.....	65
4. IMAGENS ESTROBOSCÓPICAS E VIDEOANÁLISE COMO RECURSOS DIDÁTICOS PARA UM ENSINO INVESTIGATIVO.....	68
4.1. ARTIGO 1 – O EXPERIMENTO DO PLANO INCLINADO NA PERSPECTIVA DA VIDEOANÁLISE: A EPISTEMOLOGIA DE GALILEU COMO CONTEXTO DE ENSINO.....	71
4.2. ARTIGO 2 – A VIDEOANÁLISE PARA A COMPREENSÃO DAS ONDAS ESTACIONÁRIAS EM MOLAS ELÁSTICAS.....	82
4.3. ARTIGO 3 – O LANÇAMENTO OBLÍQUO DE UM MARTELO EM ROTAÇÃO.....	88
4.4. ARTIGO 4 – AS LEIS DE NEWTON NO CONTEXTO DA MANOBRA <i>OLLIE</i> NA MODALIDADE <i>SKATEBOARDING</i> .....	97
4.5. ARTIGO 5 – O SALTO <i>GRAND JETÉ</i> DO <i>BALLET</i> .....	106
4.6. ARTIGO 6 – O LANÇAMENTO OBLÍQUO DE UMA BOLA DE BASQUETE.....	117
4.7. DISCUSSÃO.....	125
5. INTERVENÇÃO DIDÁTICA DE INVESTIGAÇÃO SOBRE A QUEDA DOS CORPOS: PLANEJAMENTO, APLICAÇÃO E RESULTADOS.....	127
5.1. A LINGUAGEM COMO EVIDÊNCIA DA ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA.....	127
5.2. A BUSCA POR INDICADORES DE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA.....	133

5.2.1. Resultados e discussões: proposta de investigação da queda do primeiro par de esfera .....	136
5.2.2. Observação e formulação da explicação do fenômeno a partir do vídeo e da imagem estroboscópica .....	142
5.2.3. A busca por generalidades .....	149
5.2.4. A formalização do conhecimento .....	154
5.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	160
5.3.1. Intervenção Didática de Investigação Baseada em Vídeo como metodologia para a promoção do ensino por investigação .....	161
5.3.2. A utilização das imagens estroboscópicas e da videoanálise como recursos para o ensino por investigação .....	164
5.3.3. Os indicadores de alfabetização científica e o padrão argumentativo de Toulmin .....	166
6. REFERÊNCIAS .....	169
APÊNDICE A: TRANSCRIÇÃO COMPLETA DAS INTERAÇÕES DISCURSIVAS DO GRUPO ANALISADO .....	176
APÊNDICE B: ARTIGO RESULTANTE DA PRIMEIRA PARTICIPAÇÃO EM EVENTO NACIONAL DURANTE O DOUTORADO: XXI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, UBERLÂNDIA, 2015 .....	193
APÊNDICE A: ARTIGO RESULTANTE DA PRIMEIRA PARTICIPAÇÃO EM EVENTO INTERNACIONAL DURANTE O ESTÁGIO DOUTORADO NO EXTERIOR: XVI ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIAS NA UNIVERSIDADE DE LISBOA, 2015.....	201
APÊNDICE D: ARTIGO RESULTANTE DA SEGUNDA PARTICIPAÇÃO EM EVENTO NACIONAL DURANTE O DOUTORADO: XXII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, SÃO CARLOS, 2017 .....	206
APÊNDICE E: ARTIGO ACEITO PARA PUBLICAÇÃO COM RESULTADOS DA PESQUISA .....	215
ANEXO 1: PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA .....	239
ANEXO 2: TERMO DE CONSENTIMENTO PARA REALIZAÇÃO DA PESQUISA NO CAMPUS NILÓPOLIS DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO .....	244
ANEXO 3: TERMO DE ASSENTIMENTO PARA PARTICIPAÇÃO NA PESQUISA ...	246
ANEXO 3: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO .....	248

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

**AC** – ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

**CAPES** – COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE ENSINO SUPERIOR

**CEDERJ** – CONSÓRCIO DE EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

**DBV** – DEMONSTRAÇÕES BASEADAS EM VÍDEO

**IOC** – INSTITUTO OSWALDO CRUZ

**PCN** – PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS

**PIBID** – PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA

**POE** – PREVER, OBSERVAR E EXPLANAR

**PPGEBS** – PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE BIOCÊNCIAS E SAÚDE

**PSSC** – PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE

**SEI** – SEQUÊNCIAS DE ENSINO INVESTIGATIVAS

**TIC** – TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

**UFRJ** – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

## 1. O CAMINHO QUE NOS TROUXE ATÉ AQUI

---

Difícil definir um ponto de partida para a trajetória que culmina com o que é apresentado nesta tese de doutorado. Essa noção humana de que as coisas sempre começam num determinado instante e terminam em outro muitas vezes facilita a compreensão de fenômenos ou de eventos, mas por outro lado dificulta a descrição de uma história não linear. O fato é que, desde que ganhamos a consciência que temos hoje, as duas atividades norteadoras dessa tese sempre estiveram presentes: a Fotografia e a Educação Científica.

Por isso, um bom ponto de partida para uma narrativa está no período em que descobrimos que essas duas atividades humanas poderiam ser complementares, o que ocorreu na graduação em Licenciatura em Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro no início dos anos 2000. Foi durante a formação docente que tivemos a oportunidade de nos aproximar da ciência da fotografia tanto nas disciplinas que tratavam dos conteúdos relacionados à Óptica quanto nas disciplinas que utilizavam fotografias como material didático. Assim descobríamos a estreita relação entre a Ciência e a Fotografia, tanto na evolução técnica dos equipamentos quanto no aprofundamento artístico do olhar fotográfico.

A Fotografia em sua concepção artística e científica e o ensino da Física em sua concepção científica e artística. A possibilidade de associar essas duas práticas ampliou nossos horizontes em relação à nossa própria experiência em aprender a Física nas escolas públicas e privadas em que fomos alunos. Isso porque no ano 2000 a então nova Lei de Diretrizes e Bases da educação brasileira, LDB 9394/96 (BRASIL, 1996), que mudou o caráter propedêutico do antigo segundo grau<sup>1</sup> para a atual etapa formativa e final da educação básica, o Ensino Médio, estava distante de estar implantada nas escolas. Com essa lei, a Física ensinada na escola deixava de ser uma preparação para o ensino superior e passava a ter objetivos que iam além de transmitir seus conceitos e leis para que os alunos resolvessem problemas idealizados pelos autores dos livros didáticos; a Física ensinada na escola precisava contribuir na

---

<sup>1</sup> Na Lei de Diretrizes e Bases anterior, Lei 5692/1971, “a conclusão da 3ª série do ensino de 2º grau habilitava ao prosseguimento de estudos em grau superior” (Art. 23 (a)). Assim, essa etapa de formação tinha por objetivo ser preparatória para o ensino superior.

Disponível em <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1970-1979/lei-5692-11-agosto-1971-357752-publicacaooriginal-1-pl.html> - Acesso em 06-01-2018

formação dos cidadãos de forma mais holística, dialogando com outras áreas do conhecimento e evidenciando o caráter científico da sua construção. Nesse cenário de mudanças a pesquisa em ensino-aprendizagem, já consolidada havia algumas décadas, desenvolvia novas formas de ensinar e buscava nas ciências humanas novos significados para o que seria aprender Ciência.

E foi na graduação que nossos horizontes acerca do que significa ensinar Física foram ampliados para o que hoje reconhecemos ser uma Educação Científica. Nossa escolha pela docência foi feita ainda na educação básica, por afinidade com uma disciplina que nos foi transmitida através do discurso professoral e da lousa, apoiados pelo livro didático. Mas a oportunidade de estar num curso de licenciatura nos fez compreender a Física como uma construção humana e suas relações com a tecnologia, com o meio ambiente, com a sua própria história e filosofia; nos fez compreender as concepções externalistas e internalistas na sua construção, suas interferências nas sociedades, nas relações homem-natureza, nas relações de trabalho; nos fez compreender que a Ciência, assim como a Arte, são atividades que têm sua gênese no afã humano em saber, em interpretar a natureza, em compreender nosso lugar no espaço-tempo.

E nesse início de trajetória de carreira com aproximação entre a Ciência e a Arte, entre a Fotografia e a Física, os estudos sobre a luz e seus fenômenos se tornaram um elo primordial. O gosto por fotografar e a necessidade de ensinar os fenômenos ópticos nos permitiram desenvolver materiais com os quais os comportamentos da luz ao interagir com a matéria pudessem ser demonstrados na sala de aula, com uma metodologia de ensino que permitisse a interação entre os alunos e os fenômenos. Assim, na disciplina de trabalho de conclusão de curso no fim da graduação, optamos por pesquisar sobre a cor e sua fenomenologia, propondo um plano de aula sobre o modelo de cores de Isaac Newton (DIAS, 2006). Para isso, no âmbito da orientação para escrita da monografia com o professor João José Fernandes de Sousa, desenvolvemos com materiais de baixo custo um conjunto de experimentos com os quais os fenômenos da refração, dispersão da luz branca, superposição de cores-luz, cor por adição de radiações e cor por subtração de radiações puderam ser demonstrados na sala de aula.

A metodologia de ensino utilizada como referência para elaboração do plano de aula foi a metodologia interativa POE – Prever, Observar e Explicar (WHITE;

GUNSTONE, 1992). Nessa altura já estava bastante claro para nós que um experimento por si só, pouco ou nada contribui para se aprender Ciência, e que, para isso, é preciso uma metodologia de ensino que permita a interação entre os aprendizes e o fenômeno. Com esse objetivo utilizamos a metodologia POE e, em nossa prática, percebemos um envolvimento dos alunos em sua aprendizagem maior do que normalmente ocorria em outras aulas, mesmo quando fazíamos demonstrações fenomenológicas com o objetivo de despertar o interesse deles, nesse caso, sem uma metodologia de ensino. Assim estava conjugado o binômio demonstração com metodologia de ensino, que, em nossa prática, trazia bons resultados.

Os materiais desenvolvidos para a monografia de fim de curso serviram como recursos para as aulas de óptica no ensino médio. Foi com essas aulas que obtivemos duas importantes conquistas para nosso retorno às atividades de pesquisa em ensino, que, por conta da rápida absorção que um professor de Física sofre - ainda hoje - pelo mercado de trabalho, ficaram em segundo plano desde que havíamos terminado a graduação. Na linha do tempo, a primeira conquista foi a láurea com o prêmio Professor Talento promovido pela Universidade Estácio de Sá<sup>2</sup>; a segunda foi o primeiro artigo aceito para apresentação em congresso (DIAS; SOUSA, 2007).

Desde então temos nos dedicando à pesquisa em materiais e metodologias de ensino com o objetivo de melhorar nossa prática docente. Nos anos que seguiram a experimentação em sala de aula associada à metodologia interativa esteve sempre presente e, no que diz respeito ao ensino da óptica, a experimentação e a fotografia. Fosse no registro de fenômenos físicos em situações cotidianas (figura 1), ou no registro de fenômenos demonstrados nos ambientes escolares (figura 2) ou no desenvolvimento de projetos escolares com a fotografia *pin-hole* (figura 3), em ambos os casos os registros fotográficos do que era observado com os olhos sempre apresentou algum desafio técnico e um olhar artístico, além do conteúdo científico envolvido no fenômeno observado.

---

<sup>2</sup> O Prêmio Talento Professor do Ensino Médio foi um concurso promovido pela Universidade Estácio de Sá nos anos de 2005 e 2006 cujo objetivo foi “identificar professores (...) que conseguiram fazer qualquer aula ficar interessante”. Para participar era necessário que os professores participantes, de todas as disciplinas do ensino médio, filmassem uma aula em que os alunos estivessem interessados em aprender. Disponível em <http://www.estacio.br/premiot talento/1.asp> - acessado em 22/08/2017.

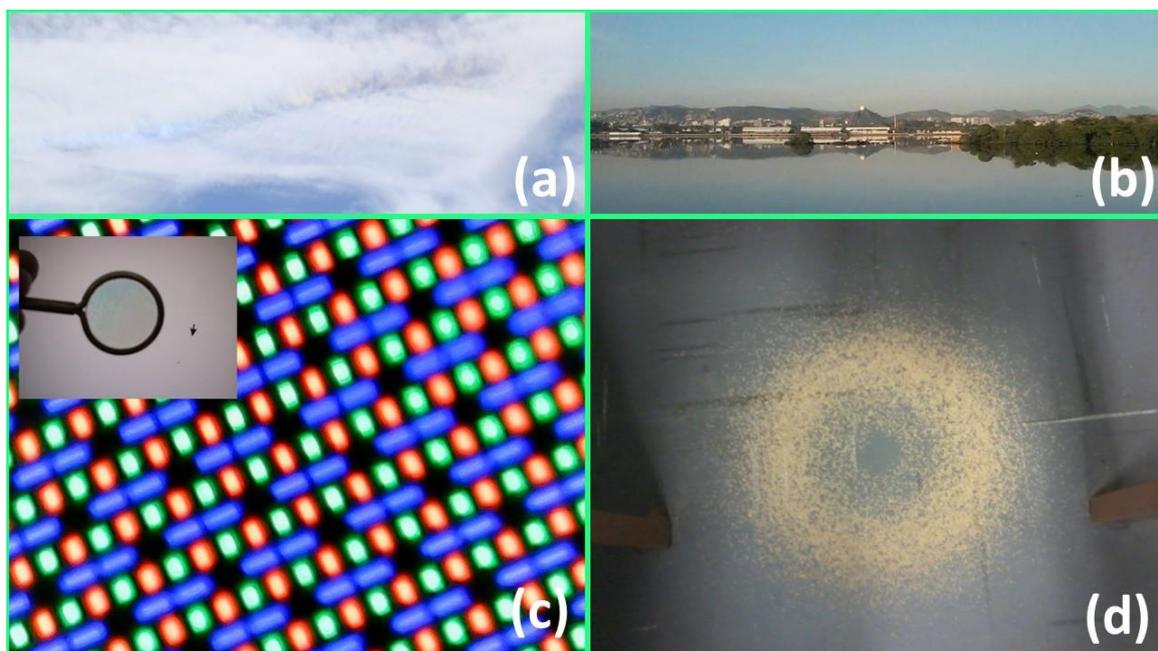


Figura 1 – (a) fenômeno raro da iridescência numa fina camada de nuvem esparsa permitindo observar o espectro de cores por subtração de radiação. A imagem foi registrada na região de Angra dos Reis, RJ; (b) espelho d'água na região da Penha e Ramos no subúrbio do Rio de Janeiro. A foto foi registrada num raro instante em que não existiam ondulações na superfície das águas na Baía da Guanabara; (c) registro das micro lâmpadas de um monitor LED. O registro foi feito a partir de uma imagem ampliada por uma lupa num instante em que a tela estava branca; e (d) na superfície inferior do tampo de uma mesa de madeira os cupins fizeram um buraco através do qual caíam os grãos da madeira por eles extraídos. Ao colidir com o chão os grãos se dispersaram formando, no repouso, a distribuição de posições que muito se assemelha à densidade de probabilidade de se encontrar o elétron no orbital 2s do átomo de hidrogênio no modelo atômico de Bohr.

Na figura 2 os registros ocorreram durante as aulas convencionais. Quando se demonstra um problema real na classe, o rumo que aula toma passa a depender da interação entre os próprios alunos, entre os alunos e o fenômeno e entre os alunos e o professor. Os objetivos podem estar claros no planejamento docente, mas os caminhos percorridos para atingi-los podem ser vários. E dependendo do caminho surgido nesse ambiente de ensino, novos objetivos podem ocorrer.

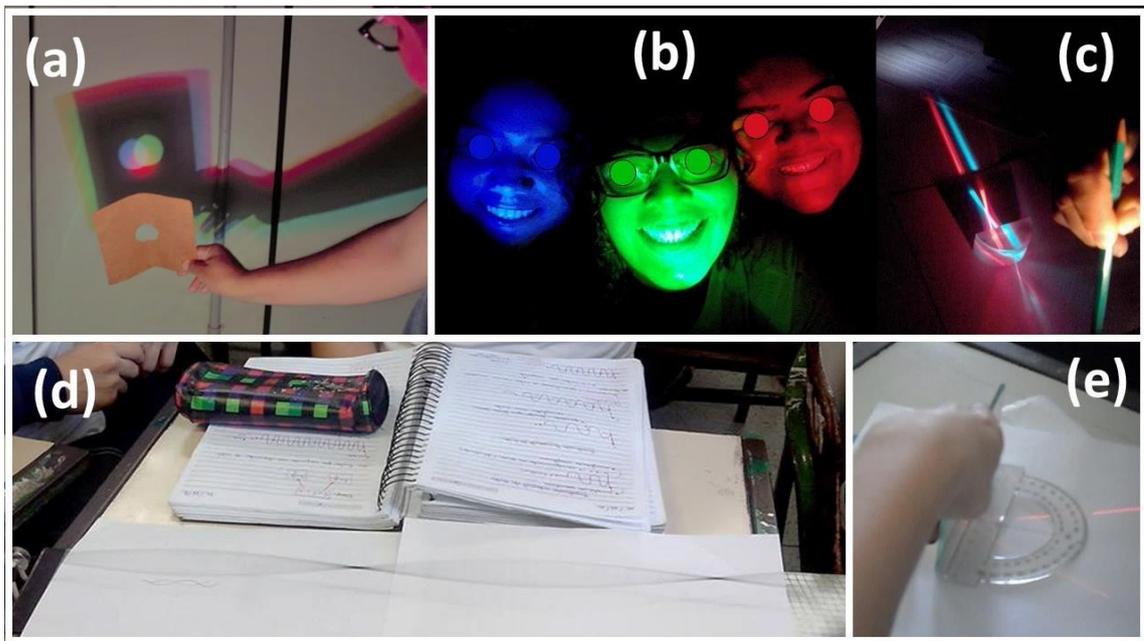


Figura 2 – Fenômenos ópticos registrados na sala de aula: (a) observação da mistura de cores luz a partir da projeção de spots em RGB; (b) alunas experimentando a produção de imagens em RGB; (c) propagação retilínea dos raios de luz e seus desvios pela refração num prisma; (d) alunos observam uma onda estacionária numa corda vibrante e comparam com as representações feitas no caderno de anotações; e (e) as leis da reflexão construídas a partir de um laser, um espelho plano e um transferidor.

Na figura 3 as imagens foram obtidas durante o desenvolvimento de um projeto que, na contramão da evolução tecnológica de captura de imagens, permitiu aos alunos vivenciarem a Ciência na produção artística da fotografia *pin-hole*. O controle artesanal sobre a abertura e o tempo de exposição nos dispositivos torna essa fotografia resultado de uma experimentação. Há pessoas em torno do mundo produzindo suas câmeras *pin-hole* das mais variadas formas. Nesse projeto as câmeras foram construídas pelos alunos (*hands-on*) em colaboração com os pares (*social-on*). Durante todas as etapas do desenvolvimento do projeto os alunos estiveram envolvidos cognitivamente (*minds-on*) e emocionalmente (*hearts-on*) na obtenção de um bom resultado fotográfico.

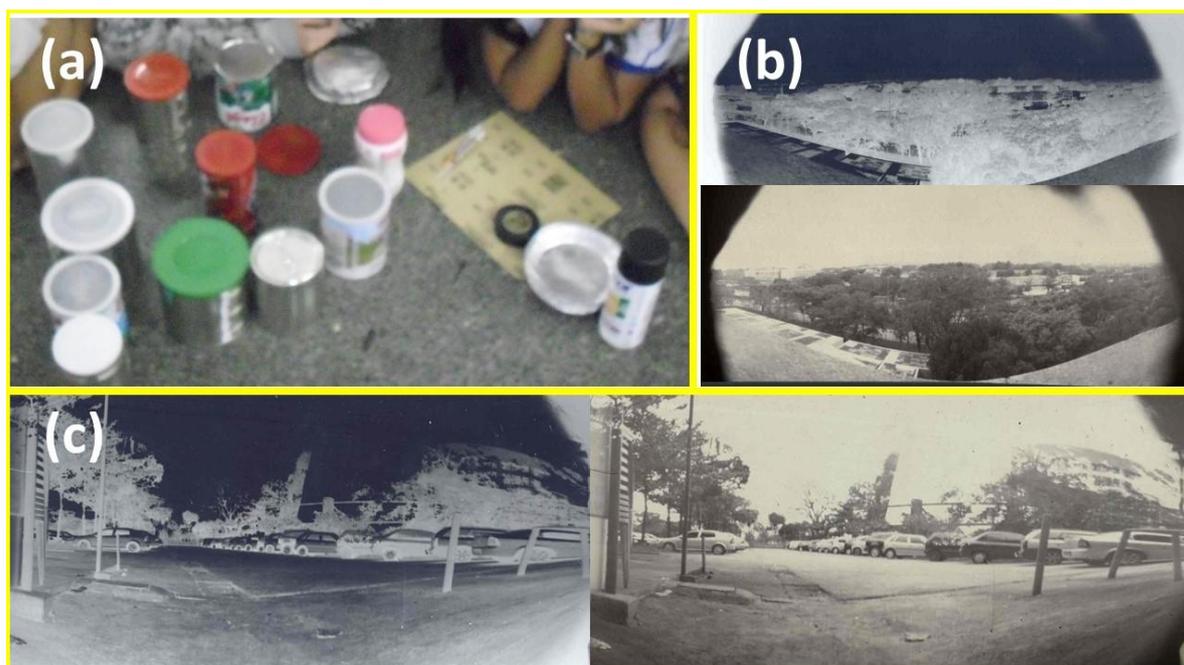


Figura 3 – (a) montagem das câmeras *Pin-hole* com latas reaproveitadas; (b) imagem positiva e negativa de uma paisagem registrada com uma *Pin-hole*; (c) foto de um estacionamento.

A próxima etapa importante para esta descrição memorial foi nosso ingresso em 2008 por processo seletivo como tutor na disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física no curso de Licenciatura em Física do consórcio CEDERJ, coordenado pelo Instituto de Física da UFRJ. Ao integrar a equipe da disciplina de Instrumentação para o Ensino, trabalhando com a professora Susana Barros e o professor Hélio Salim, tivemos a oportunidade de conhecer uma outra possibilidade de ensino de Física com fotografias, que é a utilização dos registros cronofotográficos para o estudo sistemático do movimento.

Essas fotografias são uma forma de registro temporal da trajetória de um corpo em movimento numa única imagem. Elas têm origem na gênese na cinematografia no final do século XIX, quando foram chamadas de cronofotografias, mas somente foram propostas para o ensino de Física décadas mais tarde, por exemplo, no material impresso do PSSC (1965). A produção das fotografias do PSSC ocorria em um laboratório fotográfico com uma lâmpada estroboscópica. A câmara permanecia com a entrada de luz aberta ao passo que um corpo em movimento era iluminado pela lâmpada piscante. Dessa forma ficava registrado no filme a trajetória do corpo, ou seja, suas posições nos diversos instantes do seu movimento. Por isso elas foram chamadas de fotografias estroboscópicas.

O nosso desafio no grupo da disciplina de Instrumentação para o Ensino era a produção das cronofotografias com os recursos digitais, uma vez que no ano de 2008 era crescente a popularização dos dispositivos eletrônicos que faziam foto e vídeo e, assim, em 2009 foi publicado um artigo sobre a produção de cronofotografias com recursos digitais (DIAS; BARROS; AMORIM, 2009). Em nossa proposta as cronofotografias eram produzidas pela superposição digital dos *frames* de um vídeo gravado com câmeras fotográficas digitais, por isso elas foram chamadas de fotografias estroboscópicas digitais. Para isso utilizamos dois softwares gratuitos e de código livre, disponíveis ainda hoje, o *VirtualDub*<sup>3</sup> e o *ImageJ*<sup>4</sup>. O primeiro era utilizado para extrair de um vídeo os seus *frames* enquanto que o outro era utilizado para superpor digitalmente esses *frames*, resultando numa cronofotografia de um corpo em movimento.

Com o domínio da técnica de produção digital das cronofotografias, um novo passo importante para a construção desta tese foi dado, em 2011, quando concluímos a dissertação de mestrado profissional em Ensino de Física, com uma proposta de um estudo sistemático do movimento de esferas em que se fazia necessário considerar o arrasto aerodinâmico (DIAS, 2011). Uma questão importante a ser destacada sobre a dissertação é que um movimento complexo de se observar sistematicamente pôde ser modelado na sala de aula, com os alunos utilizando a cronofotografia impressa e uma régua para auferir as posições em diversos instantes dos movimentos (figura 4A). A partir das medidas os alunos calculavam velocidades instantâneas e esboçavam graficamente os valores (figura 4B) para, a partir daí, fazerem um ajuste matemático aos pontos experimentais e, assim, modelarem o comportamento da velocidade numa equação (figura 4C). Acreditamos que essa foi a primeira vez que o estudo de um movimento com tal complexidade pôde ser proposto em sala de aula.

---

<sup>3</sup> Disponível em <http://www.virtualdub.org/>. Acessado em 26/10/2017.

<sup>4</sup> Disponível em <https://imagej.nih.gov/ij/>. Acessado em 26/10/2017.

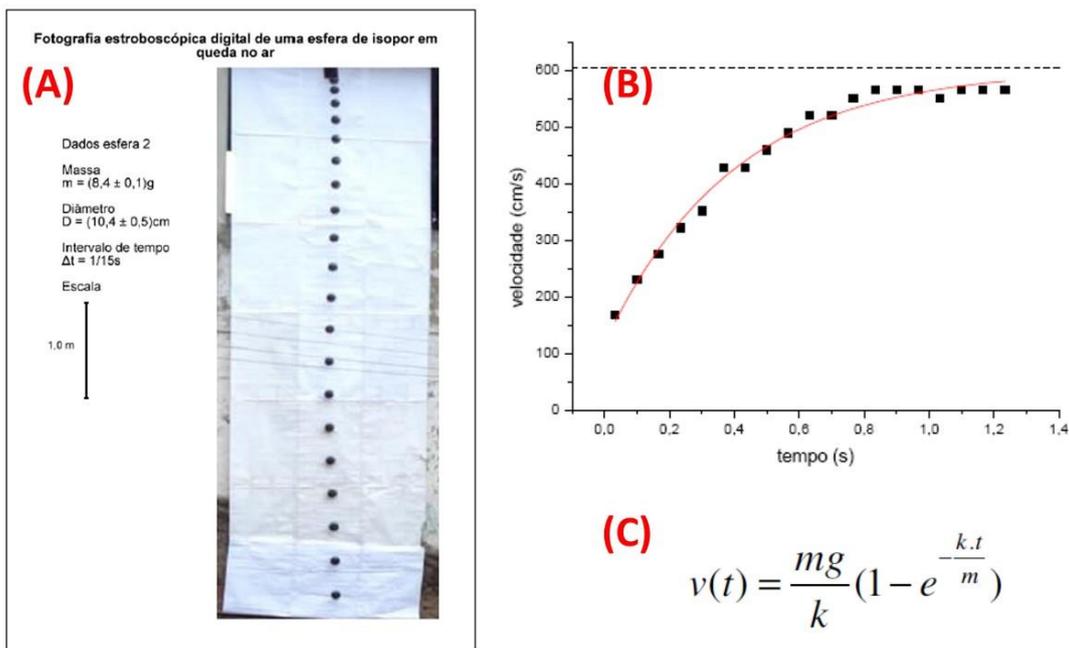


Figura 4: (A) Cronofotografia de uma esfera em queda no ar. Os parâmetros da esfera e o fator de escala são informados na própria fotografia; (B) Gráfico da velocidade em função do tempo cujos valores foram determinados manualmente considerando o teorema do valor médio da escola de Merton; (C) e Modelagem da função velocidade feita a partir da curva ajustada aos pontos no gráfico.

Diferente do que ocorria com as pioneiras fotos estroboscópicas de laboratório, com as fotos estroboscópicas digitais abriu-se caminho para um vasto horizonte de possibilidades na produção de material didático. Com isso, mesmo após o término das pesquisas de mestrado, continuamos no desenvolvimento de materiais e novas possibilidades para contexto de ensino. Para isso fomos experimentando em sala de aula a utilização de novos equipamentos e novos movimentos que poderiam ser objeto de estudo, isso na prática docente em escolas públicas e particulares de ensino médio. Assim, por exemplo, propomos que a aprendizagem de Física ocorresse em diversos contextos: movimentos nos esportes (figuras 5A e 5B), movimentos nos transportes (figuras 5C), movimentos de brinquedos (figura 5D) entre outros. No capítulo 2 apresentamos um histórico da utilização das cronofotografias tanto para a investigação científica quanto para o ensino de Física.

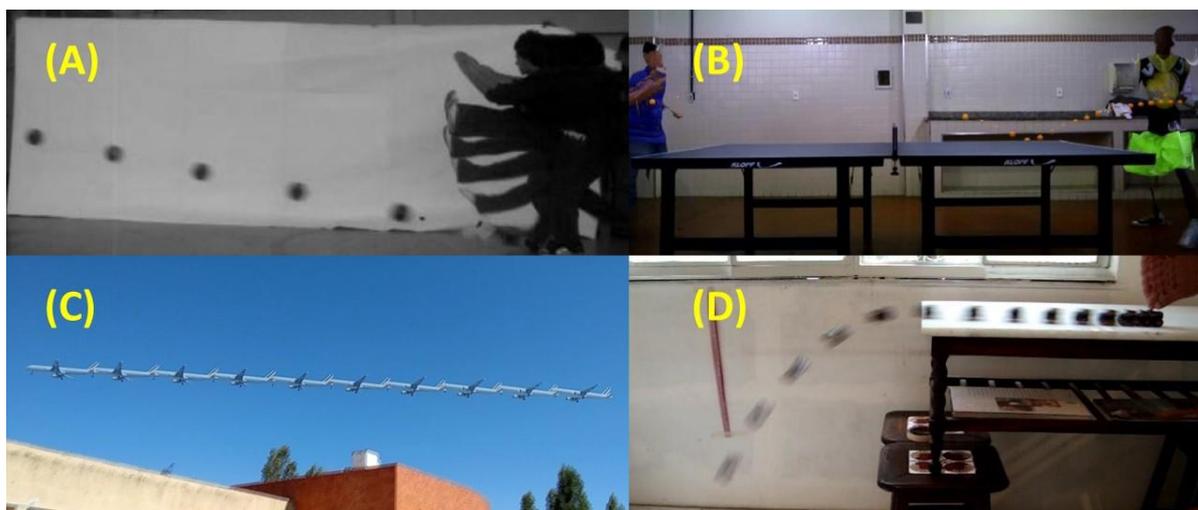


Figura 5: (A) Cronofotografia de um aluno chutando uma bola na quadra da escola; (B) cronofotografia de uma bola de ping-pong durante uma partida entre alunos; (C) cronofotografia do movimento de um avião; e (D) cronofotografia de um carrinho *Hot Wheel* sendo lançado de uma mesa.

Tanto a partir dos resultados da dissertação de mestrado quanto da experiência na prática docente, com o tempo observamos que a utilização de cronofotografias como recurso tinha potencial para um ensino com maior participação dos alunos na investigação dos movimentos. Em nossa opinião um fator que colabora para o interesse em aprender com esses recursos é que as possibilidades de contexto de ensino são ilimitadas, dependendo apenas de escolhas feitas no planejamento didático considerando os objetivos do docente e as necessidades dos discentes, possibilitando uma alternativa aos exercícios idealizados que são propostos nas simulações e no livro didático, estes mais presentes no cotidiano escolar.

Porém, na utilização desse recurso para as aulas de Física identificamos algumas armadilhas pedagógicas que existem pelo fato de, nas cronofotografias impressas, a tomada e organização de dados serem feitas manualmente, o que pode demandar tempo e esforço mental dos alunos com procedimentos em vez de aprendizagem. Isso nos levou perceber que mesmo com todo potencial das cronofotografias para a educação científica, a metodologia de ensino utilizada não pode se assemelhar àquela do laboratório didático tradicional, como define Borges (2002), uma vez que, dessa forma, a Ciência é apresentada aos alunos como algo acabado, imutável, construída por super-humanos impossíveis de ser contestados. Trata-se de uma forma de ensino *contraparadigmática*, pois, nessa metodologia,

diversos paradigmas do conhecimento científico são contrapostos, conforme discutiremos melhor no capítulo 3.

Nessa altura, cientes que a simples utilização desse recurso para atividades experimentais não garantia a aprendizagem científica, ainda considerávamos a hipótese que as cronofotografias eram uma boa opção para um ensino que permitisse um diálogo entre a experimentação e a teoria a partir da observação sistematizada de movimentos do cotidiano. Mas, para isso, era necessário que a metodologia de ensino utilizada não fosse no intuito de testar nem de falsear hipóteses, mas sim de investigar o fenômeno com o olhar científico para a construção do conhecimento (ARRUDA; SILVA; LABURU, 2001). Essa nova perspectiva nos fez buscar uma compreensão melhor sobre o que seria fazer ciência experimentalmente e de que forma esse fazer ciência poderia ocorrer no espaço da sala de aula, o que nos levou aos trabalhos de Galileu Galilei (1564-1642) com os quais tivemos o primeiro contato no Projeto Harvard de Ensino de Física (HOLTON, 1985) e depois no Discurso Sobre Duas Novas Ciências (GALILEI, 1638).

Percebemos nos trabalhos de Galileu como sua investigação sobre o movimento dos corpos demandou um conjunto de habilidades que, ainda hoje, são reconhecidas como metas para a educação científica. Na tentativa de interpretar a natureza, ele utilizou tanto o raciocínio lógico quanto a observação sistematizada dos fenômenos naturais e, para comunicar seus resultados, utilizou a linguagem matemática e a linguagem verbal. Era preciso convencer as pessoas de seu tempo que as concepções aristotélicas eram refutáveis pela observação e, para isso, ele argumentou a partir de dados, obtidos experimentalmente ou não. Assim Galileu iniciou o processo de construção do conhecimento científico abrindo caminho para uma melhor representação e compreensão natural em comparação com aquela resultante da observação simples fundamentada no senso comum.

A partir daí entrou em cena em nosso trabalho o ensino da Física numa concepção artística: a arte de fazer Ciência. Não se trata de uma proposta interdisciplinar entre Ciência e Arte, mas sim que ambas são culturas humanas, são criações do espírito investigativo humano no intuito de dialogar com o mundo; também não se trata de ter a Ciência inspirando a Arte em suas diversas manifestações. Se trata de ter oportunidade de interagir com a natureza, de interpretá-la e de representá-la a partir de um modelo construído, metas comuns aos artistas e aos cientistas. Ainda

que o objetivo não seja formar um aluno cientista, mas sim um cidadão pleno em competências para interagir em sociedade, a concepção de que a Ciência é uma construção humana precisa estar presente nas aulas das disciplinas científicas.

Paralelamente aos nossos trabalhos para o desenvolvimento de uma técnica para a produção das cronofotografias com recursos digitais (DIAS; BARROS; AMORIM, 2009), Brown e Cox (2009) publicaram o software *Tracker* de videoanálise, um programa gratuito e de código livre, disponível para os sistemas operacionais mais populares nos computadores pessoais. Ao se filmar um corpo em movimento, o vídeo pode ser importado para o *Tracker* e, em boas condições de contraste no vídeo entre o corpo em movimento e o cenário de fundo, o próprio *software* rastreia o movimento medindo as posições em cada instante e informando os dados em tabelas e gráficos, simultaneamente. Uma das grandes vantagens de se investigar o movimento com o *Tracker* em relação às cronofotografias é que com ele não corremos mais o risco de gastar todo o tempo disponível com procedimentos, podendo esse tempo ser aproveitado para a aprendizagem científica. Assim, a videoanálise minimiza a armadilha citada anteriormente, relacionada ao tempo e ao esforço mental demandados pelos detalhes operacionais que envolvem observação sistemática do movimento numa cronofotografia.

Iniciamos a utilização do *Tracker* em nossa prática no ano de 2012, no âmbito do programa PIBID da licenciatura em Física da UFRJ. Na ocasião, sob a coordenação da professora Deise Vianna, desenvolvemos uma metodologia de ensino de cinemática escalar da partícula que utilizava a estratégia POE associada tanto à cronofotografia do movimento, uma vez que ela permite a observação global do fenômeno, quanto à videoanálise para a modelagem do movimento. Foi nesse ambiente que as primeiras estratégias de ensino que conjugavam cronofotografias e videoanálise foram desenvolvidas. No mesmo ano, Bezerra et al (2012) mostraram como se trabalhar com a videoanálise na sala de aula com estratégia POE, sem a utilização da cronofotografia, mesmo com a possibilidade desse recurso ser, a partir de então, produzido pelo *Tracker* através da função *stroke*.

Ainda em 2012, à luz do reconhecimento do potencial das cronofotografias e da videoanálise para a educação científica, começamos a construção do projeto de pesquisa de doutorado que culminou nesta tese. A nossa experiência em sala de aula mostrava um envolvimento maior dos alunos quando o ensino da Mecânica lhes era

proposto com esses recursos para estudar movimentos reais em relação a outros recursos que utilizávamos, como simuladores, experimentos de baixo custo e experimentos de laboratório. Assim nascia este trabalho, cujo objetivo inicial foi verificar de que forma os alunos constroem o conhecimento quando aprendem a partir de problemas reais, com os quais eles interagem a partir da videoanálise e da cronofotografia.

Assim, em 2013 participamos do processo seletivo para ingresso no PPGEBS/IOC com aprovação do nosso projeto e início do curso previsto para março do ano seguinte. Entretanto, no intervalo entre a aprovação para cursar o doutorado e o início das aulas ocorreu um novo acontecimento que foi crucial para os resultados aqui apresentados: a nossa indicação pela UFRJ para participação no Programa de Desenvolvimento de Professores em Portugal, o PDPP/CAPES. Esse programa foi criado inicialmente para a participação de supervisores do PIBID em cursos de formação continuada nas Universidades do Porto e de Aveiro. Nossa formação ocorreu na Universidade do Porto durante três semanas do mês de janeiro de 2014, período em que nosso projeto já havia sido aprovado no PPGEBS e aguardávamos o início das aulas que ocorreria em março de 2014. Foi nessa altura que conhecemos o professor Paulo Simeão e o seu trabalho sobre Didática das Ciências que, dentre outras linhas de pesquisa, desenvolvia projetos com a videoanálise e a metodologia de ensino interativo POE. Em função de nossa afinidade com essa linha de pesquisa, o potencial de colaboração para o desenvolvimento de materiais, metodologias e de pesquisa que buscassem compreender de que forma esses recursos colaboravam para a educação científica nos levou, ainda em 2014, à construção de um Plano de Pesquisa<sup>5</sup> com o objetivo de participar do Programa de Doutorado Sanduiche no Exterior da CAPES. O Plano foi aprovado e em maio de 2015 voltamos à Universidade do Porto, permanecendo por seis meses sob a orientação do professor Simeão.

Desde então a orientação de doutorado passou a contar, junto com a professora Deise, com o professor Simeão. Trabalhando em parcerias, inicialmente desenvolvemos uma série de vídeos sobre movimentos que acreditávamos ser exemplos interessantes para os alunos da educação básica como proposta de investigação. Alguns desses movimentos e suas análises são apresentados no

---

<sup>5</sup> O Plano de Pesquisa aprovado foi intitulado como *Utilização da modelagem de imagens para o desenvolvimento de atividades investigativas nas aulas de Física*. A solicitação de estágio de doutorado no exterior foi aprovada em 24/02/2015, processo BEX 3275/15-9.

capítulo 4 na forma de artigos publicados em periódicos nacionais, internacionais e em anais de eventos. Também desenvolvemos uma metodologia de ensino que busca promover o ensino por investigação a partir do vídeo de um corpo em movimento, que chamamos de Intervenção Didática de Investigação Baseada em Vídeo, que será discutida no capítulo 3.

Essa foi a trajetória que “nos trouxe até aqui”. Uma combinação do nosso envolvimento em atividades de Ensino, Pesquisa em Ensino, Ciência e Fotografia que nos permitiu o aprimoramento no desenvolvimento de materiais didáticos e de uma metodologia de ensino que considera o aprendiz como sujeito da sua aprendizagem. Nossos resultados corroboram a hipótese de pesquisa, que a utilização das cronofotografias e da videoanálise com uma metodologia de ensino investigativa têm potencial para a promoção da alfabetização científica. Chegamos a esses resultados numa pesquisa realizada em sala de aula, com uma turma da primeira série do ensino médio, onde desenvolvemos uma intervenção sobre a queda dos corpos e, durante as interações discursivas dos alunos, identificamos a presença de indicadores de alfabetização científica para a construção de argumentos. Esses resultados são apresentados e discutidos no capítulo 5.

## 2. DAS CRONOFOTOGRAFIAS À VIDEOANÁLISE: UM CAMINHO PELA ARTE E PELA CIÊNCIA

---

*A imagem demonstra, o símbolo afirma. O fenômeno ingenuamente contemplado não é, como o símbolo, carregado de história. (BACHELARD, 1989)*

Poucos anseios humanos são tão antigos e ao mesmo tempo tão modernos quanto o desejo em representar o movimento através de imagens. Desde que nossos ancestrais passaram a registrar suas atividades cotidianas e a natureza nas pinturas nas paredes rochosas, tentamos reproduzir o espaço e o tempo em superfícies bidimensionais. O homem pré-histórico nos reportou através dos milênios, com pinturas que resistiram ao intemperismo físico e químico das rochas no interior das cavernas, registros de suas guerras, de suas caçadas, dos seus comportamentos em sociedade. Já naquela altura da nossa história havia a representação de elementos estáticos - representação apenas espacial - mas também a tentativa de representação de atividades dinâmicas, como guerras e caçadas - representação espacial e temporal.

Podemos considerar que a origem das tentativas humanas de representação dos movimentos em imagens está nas artes rupestres. Na figura 6, arte rupestre numa caverna da Serra da Capivara no estado do Piauí, dentre os elementos presentes na imagem é reportada a bravura humana durante uma caçada, evidente pela desproporcionalidade entre os tamanhos da caça e do caçador. Enquanto o caçador encurrala sua presa, pessoas e pequenos animais parecem assistir ao evento, aguardando pela oportunidade em compartilhar os triunfos dessa batalha de sobrevivência entre as espécies. Trata-se da representação de uma situação dinâmica, e dessa forma nossos ancestrais utilizavam as imagens para transmitir suas histórias aos descendentes.



Figura 6 – Arte rupestre da Serra da Capivara no estado do Piauí. Imagem disponível em <http://www.fumdham.org.br/home/registros-rupestres> - acesso em 23-08-2017

A arte rupestre mais antiga data de um período entre 35.000 e 40.000 anos atrás<sup>6</sup>. São imagens nas quais o espaço tem representação bidimensional e a importância dos elementos retratados é proporcional ao seu tamanho, uma forma de representação espacial que foi chamada por *espaço agregado*, no qual “os objetos representados eram desenhados de forma a se justapor, sem que existisse uma relação de proporcionalidade entre eles com referência às suas distâncias em relação ao observador” (BRAGA; GUERRA; REIS, 2004, p. 39). Até a idade média foi dessa forma que a pintura artística foi produzida. Isso porque a percepção tridimensional numa representação bidimensional necessita de elementos abstratos tanto para quem produz quanto para quem observa a imagem, ou seja, a geometrização do espaço.

A figura 7a é um exemplo de pintura com o espaço agregado. Nessa obra, datada do séc. XIV, a última ceia é representada com um Jesus, figura de maior importância social, proporcionalmente maior que os outros presentes. Mesmo com a geometria euclidiana, criada cerca de 1500 anos antes da pintura de Ugiolino de Siena (fig. 7a), a geometrização do espaço nas representações bidimensionais das telas de pintura ainda necessitava de evoluções no campo da óptica e técnicas de medição angular, o que ocorreu mais tarde, no período de transição entre a idade média a

---

<sup>6</sup> Informação disponível no site <https://arqueologiaeprehistoria.com/> - acesso em 21-08-2017. São os registros rupestres nas cavernas em *Lascaux*, no sudoeste francês.

idade moderna – período do Renascimento, quando a evolução da noção espacial promoveu uma transformação nas representações artísticas. Tratava-se de um novo olhar sobre a pintura, que passou a utilizar os conhecimentos de geometria para dar a impressão tridimensional, como podemos verificar na figura 7b.



Figura 7 – (a) última ceia de Ugolino de Siena, produzida entre 1325 e 1330, exposta no *Metropolitan Museum of Art*, disponível para consulta em <http://www.metmuseum.org/art/collection/search/459131> - acesso em 23-08-2017; (b) A última ceia de Da Vinci, produzida entre 1494 e 1498, pintura feita numa parede do refeitório do convento Dominicano adjacente à igreja de *Santa Maria delle Grazie* em Milão.

Dessa forma foi no Renascimento que houve uma evolução na representação do espaço em imagens para a forma como conhecemos hoje, uma representação espacial em *perspectiva*. Com essa técnica, a figura de maior importância social – tal qual o Jesus no quadro de Da Vinci (fig. 7b) – passou a ocupar lugar central, e a infinitude espacial retratada com o recurso do ponto de fuga, confluência de todas as retas paralelas do ambiente pintado, colocado na janela aberta. Assim o conceito de espaço infinito evoluiu a partir da arte renascentista, influenciando filósofos e cientistas na construção do modelo de universo e das leis do movimento, como, por exemplo, a ideia de movimento eterno no princípio da Inércia de Galileu que foi transformada em lei universal por Isaac Newton.

A representação espacial era uma atividade exclusiva das artes plásticas feitas em litografuras, pinturas e aquarelas, até o século XIX, quando as primeiras fotografias da história humana foram registradas. A primeira imagem considerada fotográfica foi registrada por Joseph Niepce em 1826. Após uma década de pesquisas Niepce conseguiu desenvolver um sistema heliográfico que, exposto por cerca de 8 horas a um cenário, foi capaz de registrar a primeira fotografia (figura 8). Apesar do pioneirismo, o sistema heliográfico de Niepce era inadequado para a fotografia

comum. Anos mais tarde, em 1839, Louis Daguerre apresenta seu equipamento fotográfico, o daguerreótipo, que trazia muitas vantagens em relação ao sistema de Niepce, como por exemplo, o tempo de exposição que variava entre 15 e 30 minutos (BUSSELLE, 1977, p. 30).



Figura 8 – considerada como a primeira imagem fotográfica da história, a fotografia chamada *Point de vue du Gras* (Vista da janela em *Le Gras*) foi tirada de uma janela do sótão da casa de campo de Niepce (Imagem acessada pelo *Google* a partir de uma busca por Primeira Fotografia de Niepce).

Nascia a fotografia. A representação espacial através de imagens, que antes demandava tempo para sua concepção artística, foi progressivamente se tornando instantânea. E o registro deixava de ter como intermediário o artista e as suas interações sensoriais com a natureza, passando a ser feito pela própria natureza, a partir da interação dos fótons de luz com a matéria em superfícies fotossensíveis, intermediada pelos dispositivos fotográficos. Seria a representação mais pura do que se vê. Inicialmente até podia parecer que a nova forma de registro do espaço findasse com a arte da pintura, mas não foi o que se viu. Para Moreira (2016) esta fratura entre o artesanal e o tecnológico, contribuiu para unir tanto os cientistas como os artistas na captura, observação e estudo das imagens, dos laboratórios aos salões de belas

artes. O próprio anúncio da invenção do daguerreótipo ocorreu em agosto de 1839 em sessão conjunta das academias de Belas-Artes e de Ciências de Paris (SCHWARCZ, 2003, p. 345). Era a Ciência e a Arte divulgando os resultados dos seus avanços técnicos, e abrindo caminho para que a evolução no campo do registro e exibição de imagens seguisse transformando as sociedades.

E foi a fotografia que permitiu que o registro temporal fosse incorporado ao registro espacial. A partir da fotografia, o francês Étienne-Jules Marey (1830-1904) criou equipamentos que permitiram o desenvolvimento da cronofotografia, que, como o próprio nome sugere, é o registro temporal na fotografia. De formação médica, Marey viu na cronofotografia uma possibilidade de registrar o invisível, algo além do que se vê, incorporando essa técnica aos estudos fisiológicos do movimento humano e de animais. Ele desenvolveu seu próprio equipamento, o fuzil cronofotográfico ou zoopraxiscópio (fig. 9a), que registrava as imagens numa única chapa fotográfica a uma taxa de até 12 quadros por segundo. De acordo com Souza (2001), Marey era antes de tudo um fisiologista preocupado em ver o invisível. Além do pioneirismo no registro temporal em imagens, em seus trabalhos, Marey nos deu o primeiro exemplo de utilização da fotografia com uma abordagem investigativa acerca do movimento. As imagens cronofotográficas permitiram a observação sistemática das variações espaciais no tempo de partes dos corpos humanos e de animais à luz do método empirista de fazer ciência. O potencial da cronofotografia para ampliar a capacidade de observação humana a partir do congelamento de alguns instantes de um corpo em movimento, associada à epistemologia científica permitiu a construção do conhecimento científico. Nas palavras de Souza,

Reforça-se a ideia de que o uso da fotografia para a revelação de fenômenos e para a produção de conhecimento sobre a realidade deve ser precedida por um método e principalmente por uma postura epistemológica que se coloque a frente dos aparelhos e procedimentos utilizados (SOUZA, 2001. p. 4).

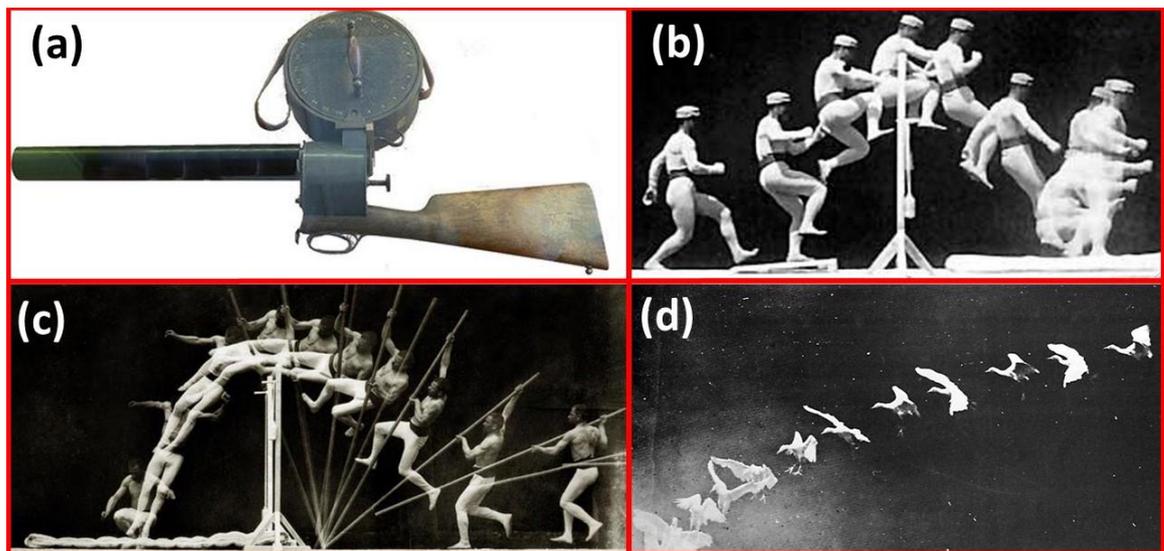
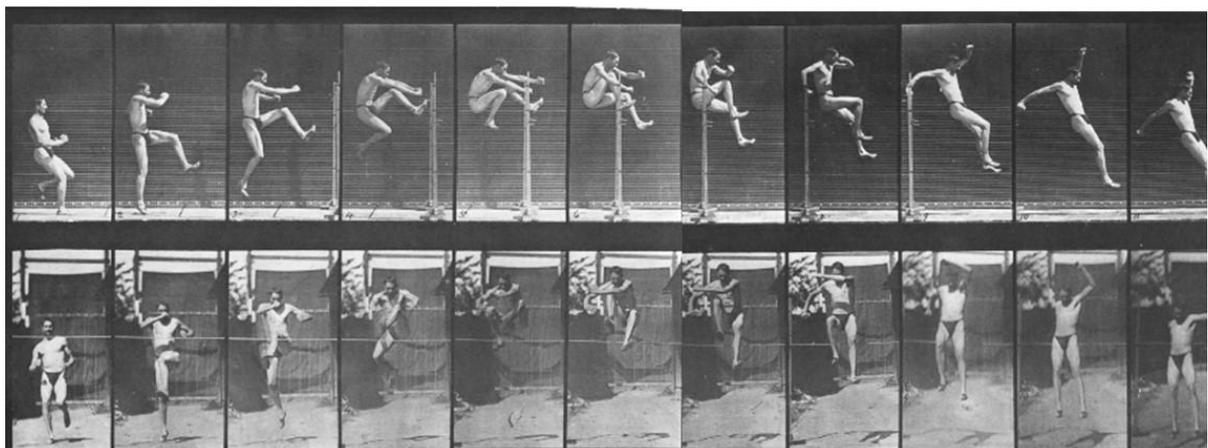


Figura 9 – (a) o fuzil cronofotográfico de Marey que registrava, numa única chapa fotográfica, até 12 fotografias por segundo. Dessa forma Marey produziu cronofotografias tanto de pessoas, (b) e (c), quanto de animais (d). (Imagens acessadas pelo Google a partir de uma busca em imagens de Jules Marey).

A cronofotografia também recebeu importantes contribuições do britânico Eadweard Muybridge (1830-1904). Ao registrar como os corpos de pessoas e de animais se comportavam durante a execução de movimentos foi possível observar detalhes de partes do corpo que a olho nu seriam imperceptíveis. No livro *The Human Figure in Motion*<sup>7</sup>, Muybridge apresenta o registro cronofotográfico de diversos movimentos corporais. De forma diferente do trabalho de Marey colocados na figura 9, nos quais as imagens foram registradas numa única chapa fotográfica, nas cronofotografias de Muybridge da figura 10 os instantes dos movimentos foram registrados em frames distintos, em tomadas frontais e laterais.



<sup>7</sup> Esse livro pode ser acessado em partes em <https://books.google.com.br>.

Figura 10 – cronofotografia de Muybridge em tomadas laterais e frontais. Diferente da cronofotografia de Marey apresentada na figura 9, nestas os instantes do movimento foram registrados em diversas chapas fotográficas. (Imagens acessadas pelo *Google* a partir de uma busca em imagens de Eadweard Muybridge).

Dessa forma o registro espaço-temporal evoluiu até que pudesse ser utilizado como recurso investigativo do movimento, resultado de milênios de evolução humana no campo das artes e da tecnologia. Desde as pinturas rupestres de *Lascaux*, por volta do sec. XV a.C., pessoas se aventuraram na tentativa de registro das atividades humanas, dos movimentos naturais, de animais, movimentos astronômicos etc. Registros da própria vida que essencialmente é indissociável do *motus*. Foram cerca de 17 mil anos de evolução até que a Ciência contasse com a possibilidade de observar instantes que passam despercebidos pelo olhar.

Assim, para a Ciência, a cronofotografia de um movimento, além de uma imagem, é um resultado experimental. A partir de uma imagem cronofotográfica se demonstra um movimento e com a epistemologia científica se pode fazer afirmações, generalizações, construir modelos, contar sua história natural. Uma cronofotografia utilizada para investigação científica sobre um movimento se torna um símbolo daquele movimento. Bachelard (1989) nos reporta que “*a imagem demonstra, o símbolo afirma*” (p. 35). Uma cronofotografia enquanto imagem e símbolo nos permite fazer descobertas baseados em provas, construir argumentos científicos acerca de um movimento, construir conhecimento. Quando utilizada como material didático nos permite contextualizar a Ciência na Arte e a Arte na Ciência, duas culturas construídas pela humanidade que se complementam para nossas tentativas de compreensão cosmológica, duas formas de observação, de interação homem-natureza. “A contaminação mútua entre essas duas culturas é útil não apenas para interpretar o mundo, mas também para transformá-lo” (ZANETIC, 2006).

No campo das artes plásticas, por exemplo, as imagens cronofotográficas serviram de inspiração aos trabalhos do artista francês Marcel Duchamp (1887-1968). As telas *Nu descendo a escada* (fig. 11a) e *Jovem homem triste num trem* (fig. 11b) são referências à cronofotografia. Ao passo que a *beleza da velocidade* havia sido valorizada no Manifesto Futurista de 1909<sup>8</sup>, que buscava inspiração na aceleração da

---

<sup>8</sup> Os avanços no campo da fotografia não eram os únicos do final do século XIX e início do século XX. Havia avanços no campo da biologia, na construção de máquinas, na eletricidade, surgia o automóvel e a vida aumentava sua velocidade. E houve um apoio à assimilação dos avanços técnicos e científicos no campo das Artes

vida, no aumento da velocidade cotidiana etc., a desaceleração do tempo proporcionada pela cronofotografia de Marey, se contrapondo ao Futurismo, serviu de inspiração para que Duchamp utilizasse o tempo como elemento plástico. Nas palavras de Duchamp em entrevista a Cabanne (2012),

No Nu descendo a escada eu queria criar uma imagem estática do movimento. (*Idem*, p. 50)  
Eu tinha visto uma ilustração de um livro de Marey que indicava às pessoas que fazem esgrima ou galopam cavalos, com um sistema de pontilhados, os diferentes movimentos (...). Foi o que me deu a ideia de Nu descendo a escada (*Ibidem*, p. 56)

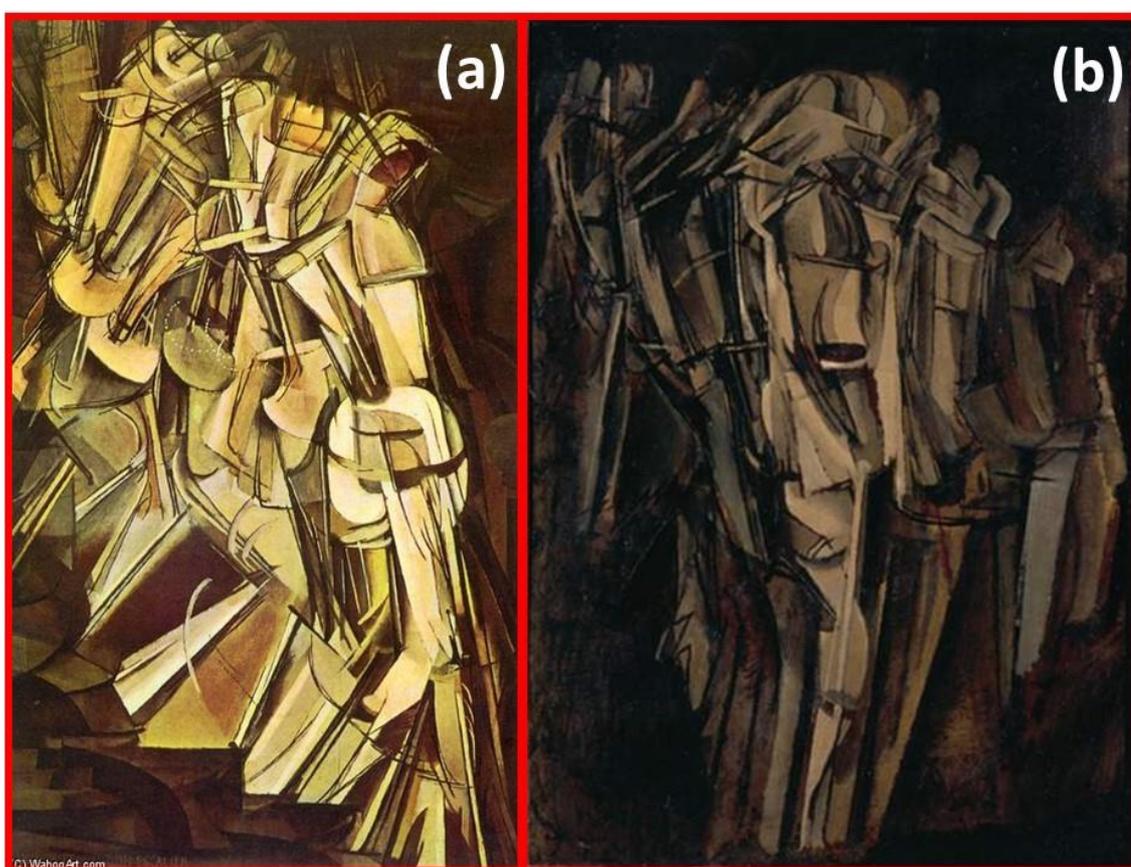


Figura 11 – (a) Nu descendo a escada número 3 (1912). Tentativa de criação de uma imagem estática do movimento.; (b) Jovem triste esperando um trem (1911). Autorretrato de Duchamp, primeiro, há a ideia do movimento do trem, e depois, a de um homem triste que se desloca (CABANNE, 2012. p. 47). Imagens disponíveis para visualização em <http://www.philamuseum.org/>

---

pelos movimentos vanguardistas. O movimento Futurista é um exemplo. Apesar dos ideais político-ideológicos controversos para os dias de hoje, o movimento Futurista propunha “a ruptura com os padrões estéticos vigentes na época e buscava, fundamentalmente, atuar em consonância com o seu tempo, investigando a velocidade do mundo na sua época, o movimento e a relação espaço-tempo” (Loyola, 2009. p. 22).

Na pesquisa em Física a cronofotografia foi uma boa opção para a medida temporal. Porém havia um limite aos movimentos que podiam ser estudados, limite imposto pela velocidade de captura das imagens que fazia com que os movimentos mais velozes não pudessem ser estudados. Convencionalmente as imagens são registradas - seja nas chapas fotográficas, nos filmes ou nos atuais sensores CCD – entre a abertura e o fechamento do obturador. Dessa forma a luz incide sobre a superfície sensível durante um certo intervalo de tempo e a imagem é registrada.

Foi então que uma outra ideia, desenvolvida por Harold Edgerton (1903-1990), aumentou a velocidade de captura das fotografias, ampliando, assim, o espectro de movimentos possíveis de ser estudados. A ideia de Edgerton consistia em mudar a forma de registro das imagens, que passou a ocorrer num laboratório escuro, no qual a câmera fotográfica permanecia com a entrada de luz aberta. Uma câmera com a entrada de luz aberta registra imagens apenas quando a cena é iluminada e, como o engenheiro Edgerton havia desenvolvido uma lâmpada elétrica que produzia flashes a uma frequência constante, para o registro cronofotográfico do movimento do corpo, a câmera permanecia com a entrada de luz aberta numa sala escura ao passo que um corpo entrava em movimento e a lâmpada de flash-múltiplo, chamada *stroboscope*, era acionada. Assim os flashes repetidos produziam uma sequência de imagens na mesma fotografia. Desde que se conhecesse o tempo entre dois flashes sucessivos, a partir da fotografia poderia se medir o tempo entre dois registros do movimento. Na figura 12, são apresentados alguns registros dos trabalhos de Edgerton<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> A obra de Harold Edgerton pode ser acessada em <https://edgerton-digital-collections.org/> - acesso em 23-08-2017. Ele deu outras contribuições para a fotografia como técnica de pesquisa, como, por exemplo, a fotografia em alta velocidade.

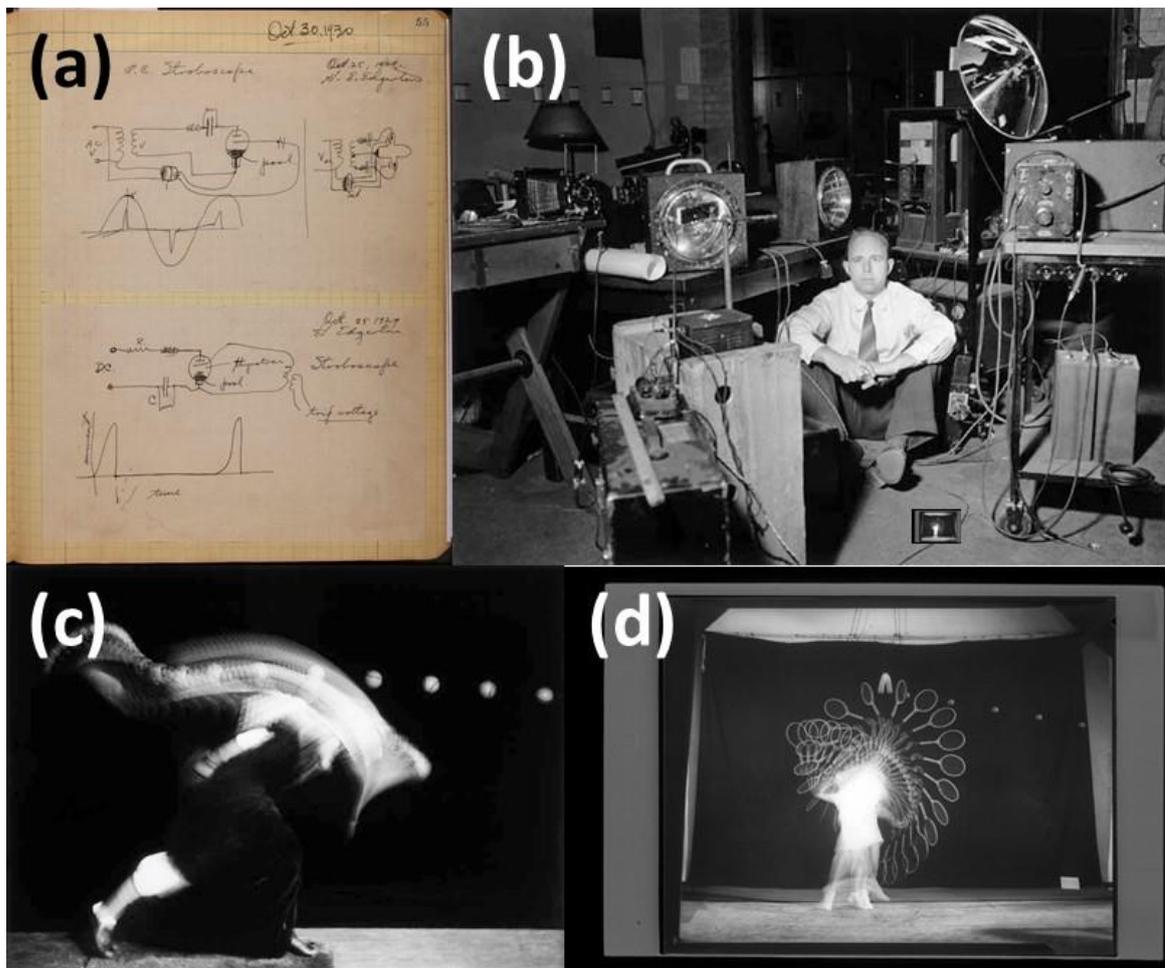


Figura 12 – (a) Imagem de uma folha do caderno de anotações de Edgerton com um esquema do estroboscópio de 1929; (b) laboratório com o equipamento fotográfico para os registros cronofotográficos; nas figuras (c) e (d) o registro cronofotográfico de movimentos rápidos, como o lançamento de uma bola de beisebol e o saque no tênis.

Foi a partir dos trabalhos de Edgerton que as cronofotografias se configuraram como recurso para o ensino de ciências. Ele desenvolveu suas pesquisas no *Massachusetts Institute of Technology*, onde, em 1956, nasceu o projeto *Physical Science Study Committee*. Em nível mundial, a utilização dessas fotografias com fins pedagógicos foi inicialmente proposta no âmbito desse projeto, importado pelo governo brasileiro na década de 60 (PSSC, 1965). Pela técnica de produção desenvolvida por Edgerton as cronofotografias foram chamadas de fotografias estroboscópicas.

A utilização das fotografias estroboscópicas para fins pedagógicos trazia alguns benefícios para a aprendizagem científica. Além delas permitirem a conceituação do movimento pela sua observação global, de tempo e espaço, o fato de a captura de

imagens ocorrer numa frequência constante, permitia ao estudante obter informações quantitativas sobre a posição do corpo em movimento em diversos instantes na própria fotografia. Na figura 13 apresentamos algumas fotografias estroboscópicas do PSSC. São representações reais de movimentos regulares presentes nos currículos da maioria dos cursos de Física na educação básica e no ensino superior.

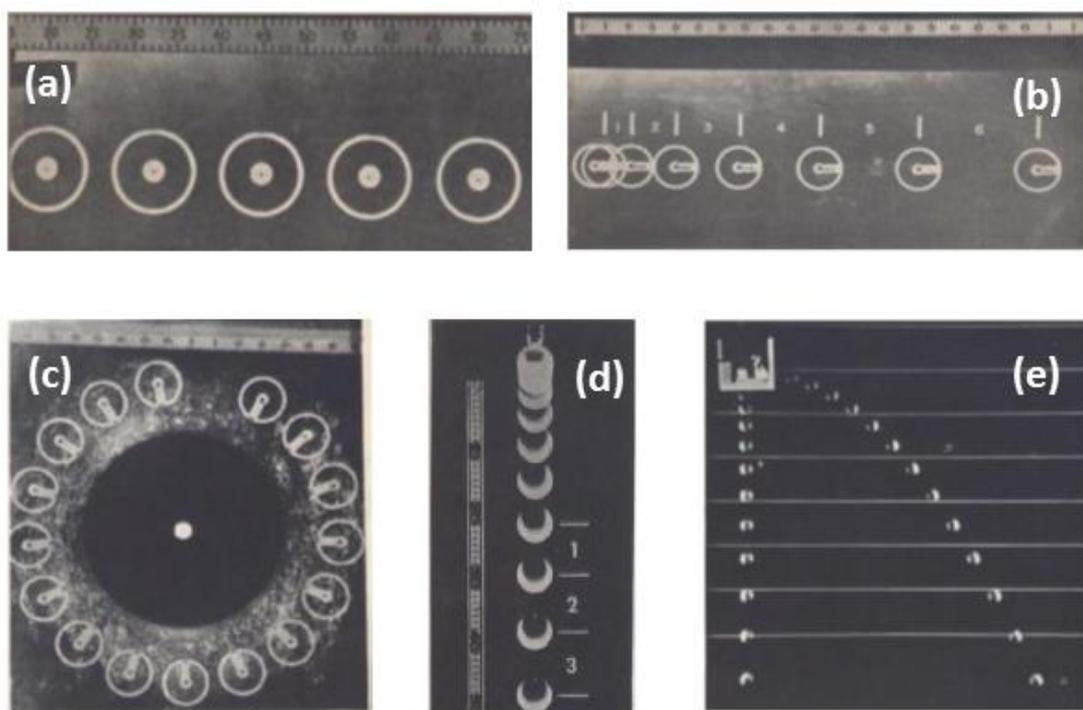


Figura 13 – (a) fotografias estroboscópica um disco se movimenta sobre uma mesa de ar com velocidade constante; (b) o mesmo disco se movimenta com aceleração constante e na figura (c) ele se movimenta em trajetória circular e com velocidade constante; na figura (d) uma esfera se movimenta em queda livre e na figura (e) foi registrado o lançamento horizontal e a queda livre, simultâneos, de duas esferas (PSSC, 1965).

Quando o professor planeja uma intervenção didática com esse recurso é possível conceituar referencial, posição *versus* deslocamento, trajetória, alcance, instante *versus* intervalo de tempo, velocidade, aceleração, força, energia etc.; também é possível o aprendiz desenvolver habilidades que são inerentes à práxis científica, que são importantes para a formação individual e coletiva das pessoas, como por exemplo o espírito investigativo, a epistemologia do conhecimento tecnológico-científico e a criticidade; para um fenômeno, podemos produzir mais de uma fotografia, variando grandezas. Assim, pode, o aprendiz, experienciar a forma

como o conhecimento científico é construído racional e empiricamente, pois na fotografia ele faz medidas e organiza dados, investiga regularidades, variações, conservações; constrói modelos matemáticos etc.

Por essas potencialidades, as fotografias estroboscópicas foram reconhecidas pela comunidade de professores como um bom recurso didático. No Brasil, o livro Projeto Brasileiro para o Ensino de Física (CANIATO,1979) também propôs como recurso didático a utilização de fotos estroboscópicas para o ensino e aprendizagem de diversos movimentos. Na figura 14 estão algumas dessas fotografias, disponíveis também no blog do autor.

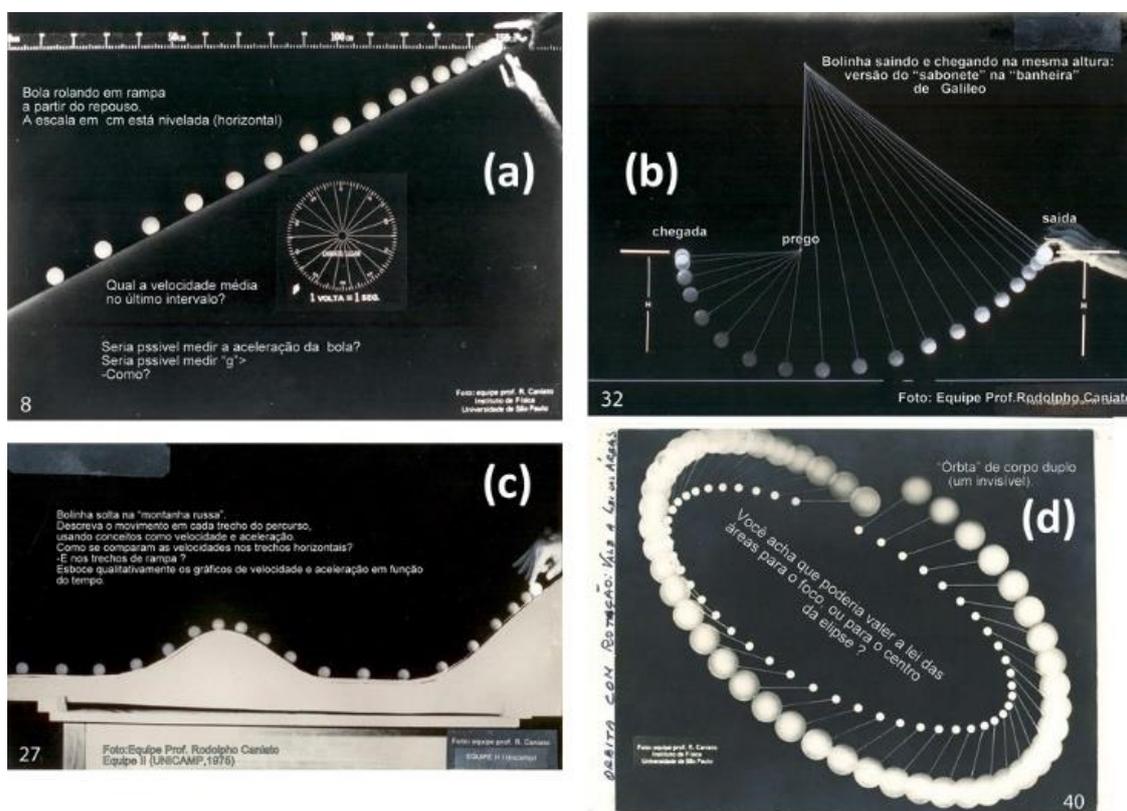


Figura 14: Fotos Estroboscópicas produzidas pela equipe do professor Rodolpho Caniato. Na figura 7a uma esfera rola num plano inclinado; Na figura 7b um pêndulo oscila e a partir de determinado instante tem seu comprimento diminuído; Na figura 7c uma esfera é abandonada do repouso e rola sobre um plano inclinado, vencendo em seguida uma 'montanha russa'; Na figura 7d o centro de massa de um sistema composto por dois corpos, um invisível na fotografia descreve uma trajetória elíptica (<http://rodolphocaniato.blogspot.com.br/2011/07/blog-post.html> - acessado em 22 de agosto de 2017).

Em cada uma das Fotografias Estroboscópicas da figura 14 há informações necessárias para que possam ser utilizadas como material didático. Na figura 13a, por

exemplo, além de uma régua na parte superior da fotografia para servir de escala, há um relógio cujo movimento ponteiro também ficou registrado, o que indica que o intervalo de tempo entre duas posições consecutivas é sempre constante. As situações-problema também são propostas na própria fotografia, como podemos observar nas quatro imagens da figura.

Apesar dos possíveis benefícios das fotografias estroboscópicas para a educação científica, o alto custo da sua produção dificultava que professores fizessem suas próprias fotografias de outros movimentos, além daqueles presentes nos livros didáticos. Fazer uma fotografia estroboscópica demandava câmera fotográfica profissional ou semiprofissional, laboratório fotográfico com iluminação apropriada e lâmpada estroboscópica, além de conhecimentos sobre fotografia. Essa demanda também dificultava a produção de material didático no próprio ambiente escolar, com a participação dos alunos. Além do fato de que os fenômenos que podiam ser registrados eram apenas os que poderiam ser reproduzidos do laboratório fotográfico. Por isso, apesar dos potenciais da fotografia para o ensino, o professor ficava restrito, na sua utilização, àqueles fenômenos registrados pelos autores dos textos didáticos.

Com o advento da era digital, a popularização dos computadores pessoais e de dispositivos gravadores de vídeos digitais, e com a oferta de *softwares* livres que permitem a edição de vídeos, a produção das imagens cronofotográficas ganhou novas possibilidades. Conforme apresentado por Dias, Barros e Amorim (2009), a partir de um vídeo digital e um PC com aplicativos gratuitos, podem ser produzidas as fotografias estroboscópicas pela superposição digital dos frames extraídos de um vídeo.

Em relação às fotos feitas com a lâmpada estroboscópica, a técnica de produção das fotografias estroboscópicas digitais adicionou uma série de vantagens no que diz respeito tanto à produção quanto à utilização como recurso didático. Com ela os recursos se tornaram acessíveis ao professor e a produção passou a depender do interesse, do conhecimento da existência dessa possibilidade e do saber fazer. Outra vantagem é ampliação do espectro de movimentos que podem se tornar objetos de ensino-aprendizagem, uma vez que todo movimento observável pode ser filmado

nas condições necessárias para que a foto estroboscópica seja produzida<sup>10</sup>; além da foto, o professor pode utilizar o vídeo produzido para demonstrar o fenômeno, o que enriquece a intervenção didática. Outra vantagem é que os alunos podem participar de todo o processo, desde a escolha e a filmagem do movimento a ser investigado, até a sua modelagem.

Assim como nos trabalhos de Marey e Muybridge, movimentos reais, do cotidiano, também podem ter seus registros cronofotográficos, mas agora a partir de um vídeo. A figura 15 mostra as fotografias estroboscópicas digitais tanto de esferas em movimentos bastantes regulares quanto de atletas em exercícios que podem ser praticados por jovens em idade escolar.

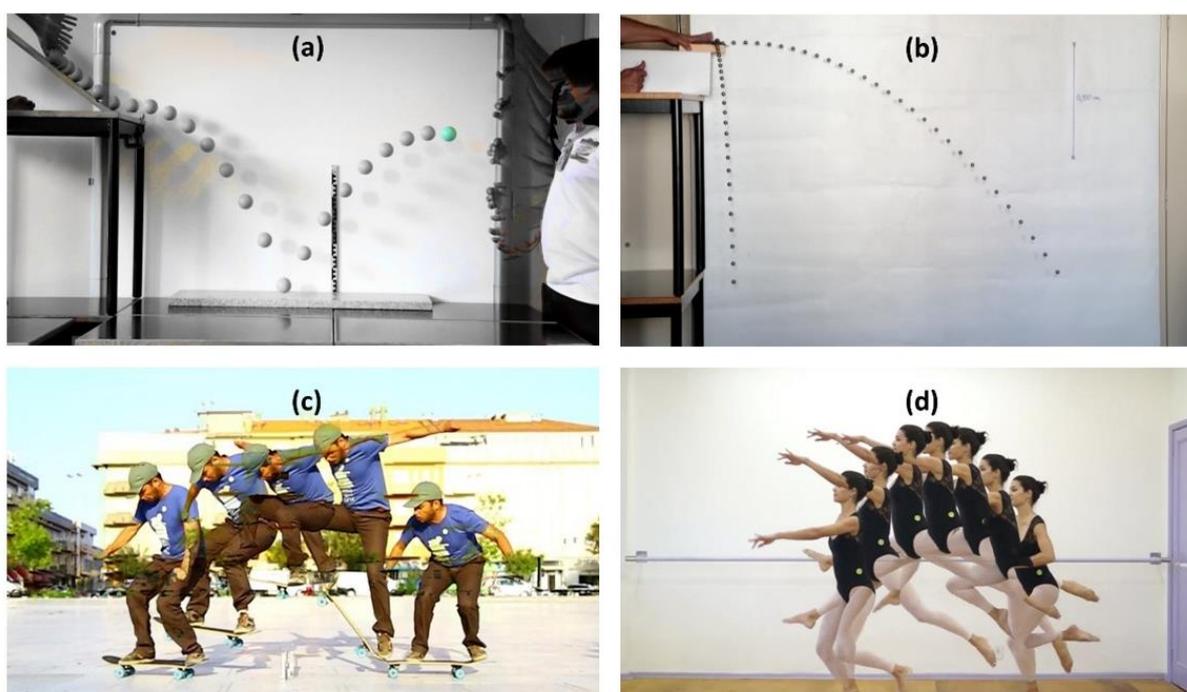


Figura 15 - (a) fotografias estroboscópica de uma esfera abandonada de uma canaleta inclinada e lançada horizontalmente que colide com uma superfície de pedra; (b) Lançamento simultâneo de duas esferas, uma horizontalmente e outra verticalmente; (c) Manobra *ollie* da modalidade *skateboard*. A descrição dos princípios físicos que estão envolvidos na manobra é feita a partir de um processo de investigação didática; (d) O salto *Grand Jeté* do *ballet*. A sensação de levitação da bailarina é uma questão de investigação para a construção do conhecimento científico (figuras do autor).

---

<sup>10</sup> A filmagem deve ser feita em cenário bem iluminado, deve haver bom contraste entre o corpo em movimento e o plano de fundo do cenário, a câmera deve permanecer imóvel e estar disposta, preferencialmente, perpendicular ao plano no qual o movimento ocorre. Para o estudo de movimentos tridimensionais podem ser utilizadas duas câmeras dispostas de tal forma que suas linhas de visada sejam perpendiculares.

Sabemos que não há garantia de facilitação da aprendizagem por meio da utilização de um recurso didático, por mais interessante que este pareça. O simples fato de entregar ao aluno uma fotografia estroboscópica e orientar que ele siga procedimentos numa metodologia tipo “receita de bolo” não traz nenhuma novidade em relação aos experimentos fechados dos tradicionais laboratórios de física experimental. Não se trata de um problema inerente aos experimentos de laboratório, mas sim aos roteiros fechados, que orientam o aluno passo a passo para que ele chegue a um resultado que confirma um modelo teórico já por ele conhecido. Ou seja, um laboratório que busca testar leis, e não construí-las, sem grau de liberdade para o pensamento científico durante a aprendizagem.

Outra questão importante a ser destacada é que os procedimentos experimentais de modelagem demandam uma fração importante do tempo de aula. É preciso medir, anotar, calcular, esboçar, variar, todas tarefas dispendiosas quando se pensa na condição do aluno da educação básica. Para que essas ações não tomem o foco do ensino, para o qual elas não sejam o objetivo principal, é preciso planejamento docente. Porém, concomitante ao desenvolvimento da técnica de produção das fotografias estroboscópicas digitais, Brown e Cox (2009) publicaram o software para videoanálise *Tracker*, com o qual as dificuldades apontadas podem ser mais facilmente suplantadas.

O *Tracker* é um software de videoanálise gratuito e de código livre, para fins didáticos, que nos permite estudar o movimento de qualquer corpo que tenha sido filmado. Uma vez que o vídeo é importado para o *Tracker*, as posições do corpo em movimento são auferidas pelo *mouse* e os dados de posição e instante são automaticamente organizados em tabela, a partir da qual podemos esboçar diversos gráficos e fazer ajustes lineares, parabólicos, senoidais, exponenciais etc. Em relação às fotografias estroboscópicas, esse aplicativo traz a vantagem de automatizar a maioria das operações de observação sistemática, permitindo que o tempo da aula seja melhor aproveitado, por exemplo, com reflexões sobre a prática investigativa. De fato, uma das vantagens da videoanálise com o *Tracker* está na simplificação dos procedimentos e da eliminação de algumas tarefas intermediárias que surgem quando da análise de fotografias obtidas com máquinas digitais (BEZERRA et al, 2012).

Por outro lado, a utilização do *Tracker* enquanto recurso para a videoanálise traz algumas desvantagens em relação às cronofotografias. A primeira é que uma

proposta de ensino que busque investigar movimentos a partir desse *software* demanda uma sala de aula com computadores para os alunos, enquanto que as fotografias estroboscópicas, quando impressas pelo docente, se configuram como um material didático de fácil transporte e manipulação. Outra desvantagem está relacionada à automatização da tomada e análise de dados, o que pode gerar um efeito “caixa-preta” em relação ao método de investigação. Como na fotografia estroboscópica esses procedimentos são realizados manualmente, as chances de compreensão das etapas de observação sistemáticas são maiores do que na videoanálise.

Dessa forma tanto as fotografias estroboscópicas quanto a videoanálise apresentam facilidades e dificuldades uma em relação a outra. Mas, contudo, acreditamos que essas dificuldades podem ser mais facilmente suplantadas se considerarmos esses dois recursos como complementares. De fato, foi a partir da consideração de complementaridade entre esses recursos que desenvolvemos a metodologia de ensino que chamamos de Intervenção Didática de Investigação Baseada em Vídeo que será descrita com mais detalhes no capítulo 3. Por hora, gostaríamos de colocar que, nessa metodologia, o problema relacionado à necessidade de computadores para os alunos realizarem a videoanálise pode ser suplantado com a utilização do computador portátil do professor conectado a um projetor, e o problema relacionado ao efeito “caixa-preta” pode ser suplantado com a produção e análise de uma imagem estroboscópica<sup>11</sup> feita *in loco*, com a participação ativa dos alunos na escolha do movimento, na filmagem e na produção da imagem estroboscópica.

A figura 16 mostra a interface do *Tracker*. Nela percebemos o cenário onde ocorre o movimento, que nesse caso é um lançamento oblíquo de uma esfera. Verificamos o referencial escolhido - linhas perpendiculares de cor avermelhada - e a calibração do fator de escala entre as dimensões do vídeo e o cenário real - segmento azul com 30,00 cm. O *Tracker* oferece um recurso que permite a produção da imagem estroboscópica. Percebemos na figura os dados organizados em tabela e a representação gráfica da posição  $y$  em função do tempo.

---

<sup>11</sup> A partir de agora chamaremos de *imagem estroboscópica* aquelas cronofotografias produzidas pelo *software Tracker*.

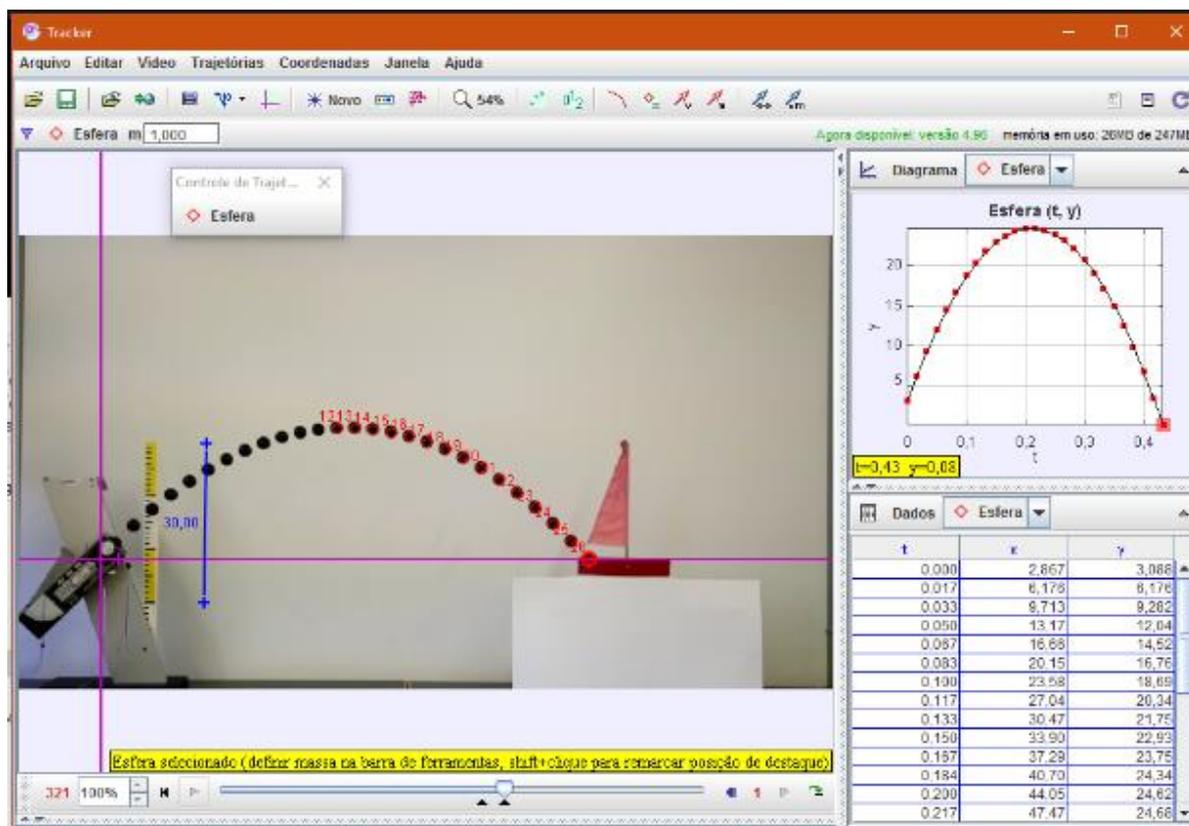


Figura 16 – Interface do *software Tracker* para a análise do movimento de uma esfera lançada obliquamente.

Muitos autores têm apresentado propostas de movimentos estudados com a videoanálise: Figueira (2011) estudou o movimento browniano; Eadkhong et al (2012) o rolamento dinâmico de um cilindro num plano inclinado; Jesus e Barros (2014) modelaram o movimento chamado de *a dança dos pêndulos*; Bonventi Jr e Aranha (2015) estudaram o amortecimento no movimento do pêndulo físico; Jesus e Sasaki (2015) discutiram a existência dos atritos de rolamento e de deslizamento num tradicional experimento de laboratório de física; Há também artigos com propostas para a educação básica, como Wee et al (2012) com uma proposta para o estudo do lançamento de projéteis, Carvalho e Rodrigues (2013) com o estudo da gravitação a partir do *game Angry Birds*, Wrase et al (2014) que contextualizaram o estudo das colisões na análise de vídeos de *crash test* disponíveis no *youtube*, Wee et al (2015) com a proposta de estudo com o *Tracker* do movimento de lançamento vertical e queda livre, Kinchin (2016) propondo o movimento harmônico de um pêndulo simples e Carvalho e Rodrigues (2017) que desmistificaram o movimento de rotação de uma garrafa semicheia no *bottle-flip challenge*. Há ainda propostas de utilização do *Tracker*

para conteúdos fora da mecânica, como para o estudo da acústica (CARVALHO, 2013) e da óptica (RODRIGUES; CARVALHO, 2014).

Do exposto neste capítulo, percebemos que tanto as imagens estroboscópicas quanto a videoanálise têm potencial para uma educação científica que promova a investigação de movimentos reais em sala de aula e, por isso, devem ser objetos da Pesquisa em Ensino de Ciências. Enquanto um registro cronofotográfico do movimento de um corpo, as imagens estroboscópicas permitem uma visualização global da trajetória, a observação de simetrias, de constâncias e de variações. Por outro lado, a videoanálise permite a observação sistemática do movimento, a busca de regularidades, a representação gráfica, o controle de grandezas, a modelagem fenomenológica. Dessa forma, a imagem estroboscópica de um movimento e o seu estudo sistemático com o *Tracker* são complementares para um processo de investigação didática com o qual se busca uma educação científica que atenda melhor às necessidades contemporâneas, permitindo ao aprendiz utilizar a razão e a experimentação da maneira como nos ensinou Galileu. Um ensino que permita a construção dialógica de soluções para um problema proposto, a elaboração coletiva de argumentos, a atribuição de significados aos termos científicos.

Produzir e observar representações naturais em imagens é uma apreciação humana antiga, resultado do nosso empreendimento no campo das artes; ao produzir e utilizar imagens com representação de fenômenos para a aprendizagem científica verificamos, em nossa prática, uma melhor afetividade dos alunos em aprender, resultado verificado em nossa análise no capítulo 5. Assim, numa intervenção com esses recursos duas culturas estão presentes, a Ciência e a Arte, tanto em relação à imagem quanto em relação às habilidades desenvolvidas durante o processo de investigação, o qual definimos ser *a arte de fazer ciência*. No próximo capítulo discutiremos de que forma essas habilidades se configuram como uma meta para a educação científica, no que escolhemos como referência de aprendizagem a alfabetização científica e, para isso, nossa proposta de metodologia de ensino por investigação busca uma aprendizagem na qual a cultura científica seja experienciada pelos alunos.

### **3. POR QUE UTILIZAR IMAGENS ESTROBOSCÓPICAS E VIDEOANÁLISE PARA A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA?**

---

É antiga a necessidade de agregar qualidade à aprendizagem das disciplinas científicas adequando seu ensino aos contextos científico, tecnológico e social que envolvem a construção do conhecimento e suas implicações nos rumos das sociedades. No caso da Física, desde que o tratado de Ganot, material impresso considerado pioneiro para o ensino dessa disciplina, passou a ser publicado em 1868, o ensino de Física passou por duas mudanças paradigmáticas. A primeira mudança foi do “paradigma dos livros didáticos” para o “paradigma dos projetos de ensino”, e a segunda do “paradigma dos projetos de ensino” para o “paradigma da pesquisa em ensino” (MOREIRA, 2000).

Até a década de 50 do século XX, houve predomínio do ensino fundamentado no paradigma dos livros didáticos. Em sua gênese, o livro didático era descritivo e enciclopédico e apoiava o discurso professoral, numa dinâmica de ensino que colocava o aprendiz num papel passivo, como receptor do conhecimento. Ainda nos dias de hoje há persistência de um ensino discursivo, centrado no docente como detentor do conhecimento, cujo único recurso didático que o aluno manipula é o livro.

Nesse modelo de ensino o professor, “deposita” conhecimento nos alunos. Foi o que Freire chamou de “concepção bancária da educação” (FREIRE, 2005, p. 65). Para Freire, “na visão ‘bancária’ da educação, o ‘saber’ é uma doação dos que se julgam sábios aos que julgam nada saber” (Idem, p. 67). Para o ensino das disciplinas científicas nessa concepção de educação, o aluno tem pouco ou nenhum espaço para reflexões sobre a natureza a partir do conhecimento prévio que traz consigo das experiências vividas tanto em etapas anteriores da escolarização quanto em ambientes extraescolares.

Podemos citar um exemplo de como um conteúdo científico é “depositado” aos alunos numa concepção bancária da educação. De maneira geral, o primeiro contato dos estudantes com a Física ocorre na educação básica, e o conteúdo curricular trabalhado inicia-se nos conceitos das grandezas fundamentais espaço, tempo e massa e suas relações matemáticas que derivam outros conceitos e grandezas, como velocidade, aceleração, força, energia etc. Essas grandezas, juntamente com as respectivas unidades de medida são apresentadas aos alunos de forma simbólico-

descritiva e, a seguir, as grandezas derivadas são introduzidas de forma semelhante. Hewitt (2002, p. xi) diz que a cinemática domina a “parte do leão” de um curso introdutório de Física, constituindo-se no “buraco negro” do ensino de Física, afirmativa com a qual concordamos. Esse autor ainda coloca: “(...) gasta-se muito tempo para se obter muito pouco”.

Trata-se de uma situação paradoxal, uma vez que a grande parte da Física que é ensinada na escola foi construída empiricamente, mas é transmitida com ênfase num simbolismo-indutivo. Ainda que o indutivismo seja um método utilizado na construção do conhecimento científico, uma estratégia de ensino exclusivamente indutiva relega aspectos importantes inerentes à própria Ciência, como a observação fenomenológica, a confrontação entre as observações e as concepções prévias, o controle experimental de variáveis, a busca de regularidades, a construção de modelos generalizantes etc. Relega, também, as relações entre o conhecimento científico e a natureza, suas implicações culturais e sociais.

Mesmo com a persistência de uma concepção bancária de ensino nos dias atuais, Moreira (2000) considera que o paradigma do livro didático foi substituído, ainda na década de 60, pelo “paradigma dos projetos” (p. 94). Essa mudança de paradigma teve início nos EUA, e dois fatores foram importantes para que ela ocorresse: as dificuldades de aprendizagem dos alunos no modelo de ensino com paradigma do livro didático e a necessidade de mão-de-obra nas áreas científicas na busca pela liderança global no contexto da Guerra Fria.

E nesse cenário nasceu a pesquisa em ensino. “O curso de Física do PSSC (*Physical Science Study Committee*) é um bom ponto de partida para uma breve análise retrospectiva do ensino de Física, no ensino médio, em nível internacional” (Idem, p 94). Na proposta metodológica do PSSC, desenvolvido por pesquisadores do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), havia como recursos o livro didático, kits experimentais e vídeos para que os conteúdos da Física fossem ensinados com atividades de laboratório (PERINE; FERREIRA; CLEMENT, 2009).

Como discutimos nos capítulos anteriores, foi no âmbito desse projeto que as fotografias estroboscópicas passaram a ser um recurso para o ensino. Essas imagens permitiam a solução de problemas a partir da tomada de dados. A figura 17 é um exemplo de como uma fotografia era utilizada no material do PSSC. Nessa imagem há representação do movimento uniformemente acelerado de um corpo, parte

integrante de uma proposta de exercício da versão brasileira, conforme transcrevemos a seguir (p. 95):

A figura 17 [numeração nossa] é uma fotografia de flash-múltiplo de uma bola em movimento, tirada em intervalos de  $1/30$  s. A bola se move da esquerda para a direita, e o ponto zero da escala se alinha com o extremo direito da posição inicial da bola.

(a) Meça a distância a partir do ponto zero para cada posição da bola, e faça um gráfico da distância em função do tempo para descrever este movimento.

(b) A partir do seu gráfico em (a), construa um gráfico velocidade-tempo.

(c) Que lhe diz o gráfico velocidade-tempo sobre a aceleração da bola móvel?

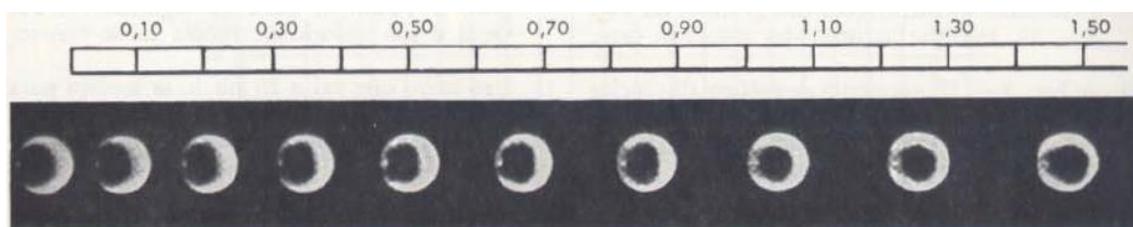


Figura 17: Imagem estroboscópica proposta em um exercício do PSSC. A partir dessa imagem era solicitado ao aluno medir as posições, construir gráficos e calcular acelerações. Fonte: PSSC.

Outros projetos também traziam fotografias sequenciais para a visualização do movimento e como fonte de dados para um estudo sistemático, como o Projeto Harvard (EUA), Física Auto Instrutiva (BRA) e Projeto Ensino de Física (BRA). A proposta didática com o recurso das fotografias seguia a tendência de utilizar o registro estroboscópico para obter dados de espaço e tempo, assim como nos experimentos tradicionais de laboratório dos cursos de graduação, realizados em equipamentos produzidos pela indústria. Podemos citar outro exemplo de como essas imagens foram utilizadas, agora no texto do Projeto de Ensino de Física (PEF), projeto desenvolvido pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo na década de 70. No fascículo 4 de mecânica, a fotografia estroboscópica da figura 18 é apresentada com uma descrição do fenômeno nela representado e, em seguida, as questões são solicitadas ao aprendiz. A seguir colocamos a transcrição do texto referente a essa fotografia:

Numa sala completamente escura, uma bolinha em movimento sobre uma calha semelhante à sua foi iluminada de modo especial:

dispararam-se 15 relâmpagos (flashes) do tipo utilizados para fotografias, em intervalos de 0,12 segundo. O tempo durante o qual a bolinha foi iluminada, a cada relâmpago, foi muito curto, de apenas alguns milésimos de segundo.

Uma pessoa que estava na sala notou que a bolinha percorreu uma distância de aproximadamente 1,1 metro desde o instante do primeiro flash até o instante do último; no entanto, ele só viu a bolinha nos instantes em que ela foi iluminada. A mesma técnica é utilizada pelos conjuntos de música jovem, que empregam uma lâmpada especial – lâmpada estroboscópica – para iluminar o ambiente de acordo com o ritmo da música (...).

Q16 – Qual é, em segundos, o intervalo de tempo decorrido entre as passagens da bola pelas posições A e G registradas na foto?

Q17 – Qual é, em centímetros, a distância real percorrida pela bolinha nesse intervalo de tempo? Não se esqueça que cada centímetro da fotografia corresponde a 6,7 cm na calha real.

Q18 – Qual é, em cm/s, a velocidade da bolinha no trecho AG?



Figura 18 – Imagem estroboscópica de uma bolinha se deslocando sobre uma canaleta, proposta pelo Projeto Ensino de Física (PEF) da USP. Fonte: PEF.

Como podemos perceber nos exemplos, a utilização do registro real de fenômenos pela fotografia teve como objetivo fazer com que os alunos seguissem um passo-a-passo para calcular a velocidade e/ou a aceleração do movimento representado na fotografia. Primeiro se calculava o tempo, depois a distância percorrida e, por fim, a velocidade e a aceleração. Tratava-se de exercícios tipo “cook-book” (ALVES FILHO, 2000, p. 46), associado ao ensino num laboratório didático formal no qual os alunos tinham pouco espaço para a reflexão; era uma metodologia que confirmava leis, que testava modelos, em vez de construí-los. Uma concepção *contraparadigmática* de educação científica, pois, nela, vários aspectos inerentes à

construção do conhecimento científico, preconizados como objetivos de ensino tanto nos documentos que norteiam os currículos oficiais quanto pela Pesquisa em Ensino, são relegados. A consequência é que a Ciência é ensinada de forma descontextualizada, memorística, um ensino que mistifica tanto a Ciência quanto a figura do cientista, que apresenta a Física como acabada, que a confunde com a matemática devido à utilização única da metodologia simbólico-dedutiva, que apresenta conceitos em vez de construí-los e que descreve fenômenos em vez de mostrá-los.

Dessa forma, mesmo com a integração da proposta de atividades experimentais ao ensino pelo paradigma dos projetos, ele pouco contribuiu para uma melhoria na qualidade da aprendizagem científica e, por isso, não durou muito tempo. Nessa época muito se avançou em como se ensinar Ciência, mas pouco sobre como se aprende e, como o processo de ensino é indissociável do processo de aprendizagem, era necessário que as disciplinas científicas fossem ensinadas com metodologias que possibilitassem aos alunos vivenciarem o fazer ciência. Ou seja, é mais importante envidar esforços no desenvolvimento de metodologias de ensino que considerem o *como se aprende* do que se preocupar com o *como se ensina*. Se trata de uma mudança de paradigma no ensino e, como Borges (2002) coloca, essas mudanças acarretam alterações nos próprios conteúdos e técnicas de ensino. Não obstante as décadas de valorização das práticas de laboratório como facilitadoras do aprendizado, os problemas continuaram na agenda da pesquisa, e a questão da aprendizagem nos levou ao paradigma da pesquisa em ensino de Física.

(...) os projetos foram muito claros em dizer como se deveria ensinar a Física (experimentos, demonstrações, projetos, "hands-on", história da Física, ...), mas pouco ou nada disseram sobre como aprender-se-ia esta mesma Física. Ensino e aprendizagem são interdependentes; por melhor que sejam os materiais instrucionais, do ponto de vista de quem os elabora, a aprendizagem não é uma consequência natural (MOREIRA, 2000, p. 95)

A partir da necessidade de compreensão sobre como se aprende, na década de 70 o ensino da Física entrou na fase do paradigma da pesquisa em ensino e, no Brasil, a utilização das fotografias estroboscópicas continuou a ser proposta em

alguns materiais, como no livro Projeto Brasileiro para o Ensino de Física, volume II (CANIATO, 1979). A proposta didática para as fotografias nesse material diferia das propostas citadas acima, pois, nesse material, fenômenos estroboscópicos eram parte integrante dos tópicos de ensino propostos pelo livro. As fotografias foram utilizadas tanto para a visualização fenomenológica, como aquela exemplificada na figura 19(a), quanto como proposta de um estudo sistemático, conforme exemplificado na figura 19(b). Além de ser um projeto inovador no sentido de apresentar um grande número de fenômenos registrados com as fotografias estroboscópicas, o autor inovou também na forma de registrar o tempo durante o movimento. Para isso foi desenvolvido um tipo de relógio cujo movimento do ponteiro ficava registrado na fotografia (parte destacada em vermelho na figura 19(b)). O autor também utilizou a própria fotografia para colocar informações sobre o fenômeno representado.

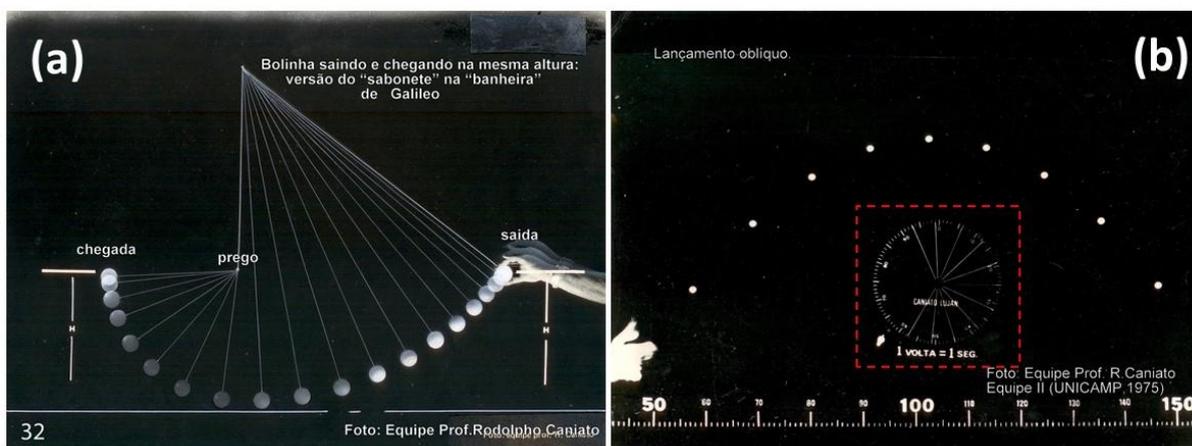


Figura 19 – Fotografias estroboscópicas disponíveis no livro Projeto Brasileiro para o Ensino de Física. Fonte: Caniato, 1979.

Ainda concordando com a retrospectiva de Moreira feita no ano 2000, vivemos hoje a “multiparadigmática” época da pesquisa em ensino. Porém o protagonismo das fotografias estroboscópicas em materiais didáticos pouco avançou, ficando sua utilização restrita à ilustração ou propostas de exercícios. Dos poucos livros atuais que utilizam essas fotografias, o de Pietrocola et al. (2010) apresenta ao final do capítulo que trata dos movimentos retilíneos uma seção denominada “outras atividades”, na qual os autores propõem algumas fotografias estroboscópicas para a solução de problemas, conforme transcrevemos a seguir (p. 159):

### Fotos Estroboscópicas

Nesta atividade, utilizaremos fotografias estroboscópicas para analisar o movimento de uma bolinha de tênis. Uma fotografia estroboscópica permite a observação de um fenômeno muito rápido. Ela é desenvolvida deixando-se o filme ou CCD (dispositivo que registra a imagem) exposto, enquanto uma lâmpada muito intensa pisca de modo contínuo. Ao mesmo tempo que o objeto se move, esse dispositivo registra imagens sequenciadas em intervalos de tempos iguais.

As fotografias estroboscópicas (...) mostram três movimentos verticais de uma bola de tênis em intervalos de 0,05 segundo. Foram fotografadas as seguintes situações: lançamento vertical para baixo, abandono de um corpo a certa altura do solo e lançamento vertical para cima, sem que fosse identificada a ordem em que elas aparecem.

Discussão: Por meio dessas fotografias, das distâncias e dos intervalos de tempo entre as posições dos fenômenos registrados, analisem e verifiquem, em grupos, as leis físicas do movimento estudadas, qualitativa e/ou quantitativamente.

Após essa apresentação das imagens estroboscópicas e da discussão sobre a atividade, o livro sugere o estudo dos movimentos a partir da imagem em duas etapas, conforme transcrevemos a seguir:

#### Parte I – Os movimentos

1) Observem as fotografias. Quanto tempo dura o movimento em cada um dos casos?

2) Analise cada uma das fotos e identifique o movimento registrado em cada uma delas. Justifique.

#### Parte II – A queda livre

3) Vamos agora estudar a fotografia do movimento de queda livre.

(a) Sabendo que a escala da fotografia é 1 : 6 – cada 1 cm dessa imagem corresponde a 6 cm da montagem real - , elabore uma tabela indicando o deslocamento em cada instante na fotografia e na situação real

(b) Determine uma estratégia para medir a aceleração na bola de tênis.

(c) Discuta se o valor obtido é razoável.

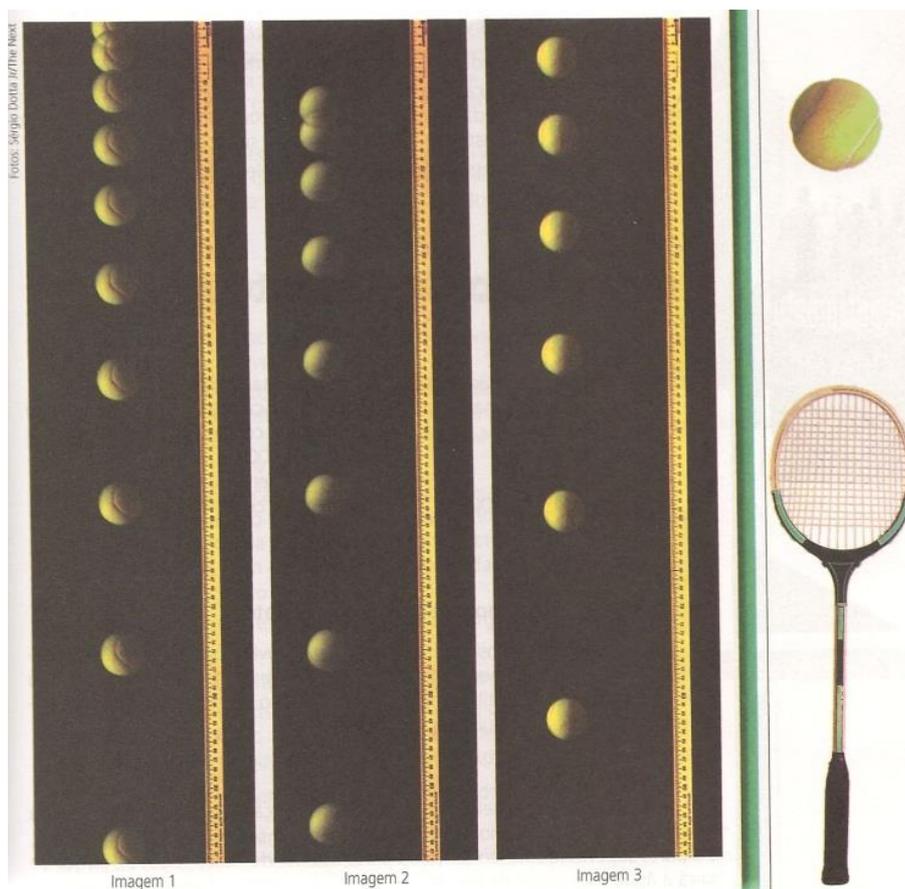


Figura 20 – Fotografia estroboscópica do livro Física em Contextos: pessoal, social e histórico. Fonte: Pietrocola et al, 2010.

Percebemos nessa proposta de atividade a existência de características de ensino que nos remetem ao paradigma dos livros, ao paradigma dos projetos e ao paradigma da pesquisa. O fato de a fotografia estroboscópica ser proposta sem a disponibilização de um vídeo que permita aos alunos observarem o fenômeno, o que poderia ocorrer ao final do exercício proposto 2, nos remete ao ensino discursivo, apoiado unicamente pelo livro didático, característico do paradigma dos livros; a orientação passo a passo para a elaboração de uma tabela, com valores arbitrários da fotografia e com valores reais obtidos a partir do fator de escala informado, nos remete às atividades de laboratório orientadas pelos livros-texto da época do paradigma dos projetos; e a abertura para que os alunos discutam estratégias de medida de aceleração e que os resultados obtidos sejam avaliados e validados traz elementos de um ensino que coloca o aprendiz como ativo no processo de ensino-aprendizagem, característico do paradigma do ensino. Portanto, não obstante os anos

de reconhecimento do potencial das fotografias para a educação em Ciências, nos dias atuais é tímida sua utilização pelo material didático mais acessível, ou seja, o livro texto.

Por outro lado, com a crescente popularização dos dispositivos gravadores de vídeo iniciada nos anos 80, e o reconhecimento das Tecnologias da Informação e Comunicação como recursos potenciais para o ensino-aprendizagem das Ciências, alguns pesquisadores voltaram sua atenção para a utilização dos vídeos digitais para o estudo do movimento. Barbeta e Yamamoto (2001) fizeram um levantamento dos softwares de análise de movimentos a partir de vídeos e citaram a existência de cinco, dentre aplicativos pagos e gratuitos, que foram desenvolvidos a partir do final dos anos 80 (*VideoPoint, VideoGraph, VidShell, World-in-Motion e Dig-Net*)<sup>12</sup>. Esses autores, ainda com recursos de filmagem em formato VHS e posterior digitalização do vídeo, também desenvolveram “Programa de Análise de Imagens” com o qual apresentaram uma proposta de estudo da queda de um corpo.

Nessa altura da história, à utilização de fotografias estroboscópicas para a educação científica se somava a análise de movimento a partir de vídeo. Com o advento da imagem digital e a oferta no mercado dos dispositivos gravadores de vídeos digitais, iniciada no final dos anos 90, a produção de vídeos foi popularizada e, com ela, a difusão de aplicativos para editar esses vídeos passou a integrar os *softwares* residentes nos PC. Um dos primeiros *softwares* para edição de vídeos a ser utilizado para o estudo do movimento foi o *Windows Movie Maker*, residente nos sistemas operacionais *Windows*. Com o recurso de passagem do vídeo quadro a quadro desse *software*, o movimento de um corpo que tenha sido filmado passou a contar com a possibilidade de análise no próprio PC. Saba, Melo e Thompson (2003) utilizaram a análise do vídeo quadro a quadro disponível no *Movie Maker* numa proposta de investigar o movimento chamado “clipiã”. Porém, essa precursora ferramenta para o que hoje chamamos videoanálise, trazia um fator complicador na sua utilização, que era o fato de que vídeos capturados em frequências maiores do que 24 quadros por segundo (nessa época as câmeras digitais filmavam em 15 ou 30 quadros por segundo), tinham sua reprodução baixada para 24 quadros por segundo,

---

<sup>12</sup> No artigo de Barbeta e Yamamoto, do ano de 2001, os endereços para acessar esses softwares pela internet estão indicados. Porém, tentamos acessar e nenhum deles estava disponível em 25/10/2017.

o que dificultava sua utilização para os vídeos de movimentos que demandavam taxas de capturas maiores.

Como podemos perceber a partir do exposto acima, é antigo o reconhecimento das imagens estroboscópicas e da videoanálise como potencial para a aprendizagem científica. Porém a simples utilização desse recurso não é garantia de melhora na aprendizagem. A questão a ser confrontada quando se busca um ensino com esses (e outros) recursos é o desenvolvimento de uma metodologia de ensino que motive a aprendizagem de Ciências. Para isso é preciso retirar os alunos do papel passivo na aprendizagem, e isso não se consegue com a simples utilização de recursos tecnológicos. Ramos, Gianella e Struchinner (2010) comentam que, ao passo que a tecnologia avança na sociedade, o modelo de ensino, em geral adotado, permanece estático, baseado em modelos de transmissão do conhecimento:

(...) a escola continua adotando as mesmas estratégias tradicionais e pouco motivadoras para os alunos, quando a evolução das TICs já vem oferecendo recursos pedagógicos que podem contribuir para despertar o interesse e engajar os estudantes na aprendizagem de conceitos científicos. (p. 84)

Nesse sentido, à luz do conhecimento sobre como se aprende Ciência acumulado nas últimas décadas, reconhecemos na utilização das imagens estroboscópicas e da videoanálise um potencial para o ensino nos contextos da Física do cotidiano, da ciência-tecnologia-sociedade, história e filosofia da Ciência, física nos esportes, Ciência e Arte etc. O estudo do movimento a partir do vídeo digital ampliou os horizontes em relação às fotografias produzidas com flashes múltiplos, permitindo que a aprendizagem ocorra em diversos contextos, como exemplificaremos nas seções a seguir; a escolha de uma metodologia de ensino que considera aquilo que o aluno sabe, que permite que ele seja protagonista na sua aprendizagem. Para isso, dentro do espectro de possibilidades de materiais e metodologias que permitem um ensino a partir de atividades prático-experimentais, escolhemos a metodologia que envolve os alunos num processo de investigação didática, o ensino por investigação.

### 3.1. O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO NA PERSPECTIVA DA PESQUISA EM ENSINO

---

Como discutido acima, as atividades experimentais no processo de ensino-aprendizagem das ciências naturais vêm sendo propostas como facilitadoras na compreensão fenomenológica, conceitual e dos modelos científicos desde a década de 50 do século XX. Argumentos de que a experimentação em laboratório e as condições adequadas de aprendizagem são importantes para estimular o interesse dos alunos, e que estes podem ser facilmente incorporados à estrutura escolar, também são antigos (NEDELSKY, 1958).

Mas, na Física, o “milagre do laboratório” não resultou em grandes avanços na aprendizagem e tampouco na afetividade dos alunos com a ciência (HOFSTEIN; LUNETTA, 2004). O fato de há décadas existir a oferta de um ensino com atividades de laboratório, e nesse contexto se inseriam as imagens estroboscópicas como dado experimental sobre o movimento de um corpo, por si só, não foi garantia de melhoria na qualidade do ensino. Isso porque a metodologia utilizava roteiros fechados associados aos experimentos, transformando a aprendizagem num processo verticalizado, autoritário que, assim, era desvinculado da aprendizagem. Conforme Séré, Coelho e Nunes (2003, p. 32):

A maneira clássica de utilizar o experimento é aquela em que o aluno não tem que discutir; ele aprende como se servir de um material, de um método; a manipular uma lei fazendo variar os parâmetros e a observar um fenômeno.  
Há outro tipo de abordagem onde a lei não é questionada, ela é conhecida e utilizada para calcular um parâmetro, analogamente ao que é feito em um laboratório de metrologia ou de testes.

As atividades práticas no laboratório formal, por si só, pouco ou nada contribuíram para o aprendizado e tampouco para o desenvolvimento de um espírito investigativo tão importante na formação cidadã. Isso porque no laboratório tradicional, os roteiros fechados adotados nas aulas práticas pouco exigem do aluno, ficando este com o papel de confirmar modelos concebidos através de experimentos montados e com pouca interação tanto entre os alunos em seus grupos, quanto entre os alunos e o fenômeno natural em estudo. Conforme coloca Alves Filho (2000, p. 46)

Ao se transferir a atribuição de manipular os equipamentos e dispositivos experimentais ao aluno, tem-se o laboratório tradicional, ou laboratório convencional. Geralmente a atividade é acompanhada por um texto-guia, altamente estruturado e organizado (tipo cook-book), que serve de roteiro para o aluno. Mesmo tendo uma participação ativa, a liberdade de ação do aluno é bastante limitada, assim como seu poder de decisão. Isto porque ele fica tolhido, seja pelo tempo de permanência no laboratório, ou pelas restrições estabelecidas no roteiro, seja pela impossibilidade de modificar a montagem experimental. Os experimentos, devido ao seu grau de estruturação, reduzem o tempo de reflexão do aluno, assim como a decisão a ser tomada sobre a próxima ação ou passo experimental. Variáveis a serem observadas, o que medir e como medir fogem totalmente da esfera de decisão dos alunos, pois tudo está “receitado” no guia ou roteiro experimental.

Bassoli (2014, p. 587) descreve a existência de mitos em relação às atividades práticas no ensino de Ciências:

Mito 1: O caminho para aprender ciência e seus métodos é o “aprender fazendo” ou o “descobrir aprendendo” (...)  
Mito 2: A realização de atividades práticas garante a motivação dos alunos. (...)  
Mito 3: É indispensável um laboratório de ciências para a realização de atividades práticas.

Em relação ao mito 1, a herança da filosofia positivista contribui para que a ciência seja considerada como capaz de resolver qualquer problema humano. Esse estigma se deu em função dos progressos promovidos pelo conhecimento científico aplicado à tecnologia, e, ainda hoje, é uma concepção presente no imaginário das pessoas em geral. Nessa concepção de ensino em laboratório, os fenômenos são considerados como dados absolutos na natureza, obtidos sem a intervenção humana. Alves Filho (2000, p. 196) cita que

Independente dos litígios e opiniões acadêmicas dos filósofos e epistemólogos do século XIX relativas ao método científico, a Ciência avançava, promovendo um progresso e desenvolvimento significativos. Este progresso demonstrava e convenciona a humanidade da excelência do método científico para conhecer a realidade.

Em relação ao mito 2, a utilização de um experimento de laboratório sem uma reflexão sobre como se constrói o conhecimento científico, sobre as interferências dos

sentidos do cientista na realização de um experimento e sobre as questões externas à prática científica que influenciam no fazer ciência, acaba por apresentar uma ciência acabada, imutável e concebida a partir de genialidades (ARRUDA; SILVA; LABURU, 2001). É o que ocorre com a concepção tradicional no ensino, onde se comprovam modelos, leis e teorias; o segundo mito é que *a realização de atividades práticas garante a motivação dos alunos*.

Em relação ao mito 3, o amplo espectro de possibilidades como, por exemplo, experimentos de baixo custo, utilização das TIC, demonstrações experimentais em sala de aula etc, permite que a aprendizagem científica que se busca com a atividade de laboratório possa ocorrer em outros espaços. Concordamos com Pereira e Moreira (2017, p. 267):

(...) trabalho laboratorial não demanda necessariamente o espaço físico de um laboratório, assim como uma atividade nesse contexto de trabalho não necessariamente demanda um trabalho experimental, podendo ser um trabalho prático. Tomemos como primeiro exemplo uma atividade realizada pelo professor em uma sala de aula com a demonstração do experimento de pêndulo simples para determinação da aceleração da gravidade, em que os alunos tomem notas, registrem os dados e procedam com toda a análise do experimento, ou seja, trata-se de um trabalho experimental que não demanda o espaço do laboratório (apesar de autores usarem a expressão atividade laboratorial para esse caso). Agora, cogitemos uma visita a um espaço não formal, como um museu, em que haja um pêndulo de Foucault em funcionamento, e o professor aproveite tal momento para a realização de uma atividade com seus estudantes, mas que não necessariamente envolva a medição do comprimento do fio do aparato etc., ou seja, trata-se de uma atividade prática, uma vez que coloca o aluno em um papel mais ativo, reconfigurando o ensino unidirecional focado a partir do professor.

Diferente da concepção positivista do ensino experimental e ciente das armadilhas que as atividades de laboratório trazem consigo, nossa concepção para a educação científica é que o conhecimento deve ser construído ativamente pelo aprendiz, e que a aprendizagem em sala de aula requer atividades práticas elaboradas para desafiar as concepções prévias dos alunos encorajando-os a reorganizar suas teorias pessoais; consideramos também que diversos fatores da experiência pessoal, da linguagem e da socialização inter-relacionam-se no processo de ensino-aprendizagem, conforme Driver et al. (1999, p. 34):

(...) o conhecimento e o entendimento, inclusive o entendimento científico, são construídos quando os indivíduos se engajam socialmente em conversações e atividades sobre problemas e tarefas comuns. Conferir significado é, portanto, um processo dialógico que envolve pessoas em conversação e a aprendizagem é vista como o processo pelo qual os indivíduos são introduzidos em uma cultura por seus membros mais experientes.

Essa dinâmica de ensino e de aprendizagem está no contexto do ensino por investigação. Investigar é uma atividade que envolve fazer observações, fazer perguntas, examinando livros e outras fontes de informação para ver o que já é conhecido, ou não, à luz da evidência experimental. É necessário usar ferramentas para coletar, analisar e interpretar dados, propondo respostas, explicações e previsões, e comunicar os resultados aos pares; investigar exige a identificação dos pressupostos, a utilização de pensamento crítico e lógico, e consideração de explicações alternativas. Mesmo considerando que numa aula investigativa os alunos não construirão conhecimento científico da forma como faz o cientista em seu laboratório, há muita semelhança de tais processos com o fazer ciência, como destacaram Arruda, Silva e Laburu (2001, p. 99).

(i) Inicialmente, uma situação problemática aberta é colocada; a partir de um corpo de conhecimentos (teoria) a situação é analisada e o problema é definido de uma forma mais precisa; (ii) em seguida são elaborados modelos, hipóteses e estratégias para a contrastação empírica das mesmas, o que inclui o planejamento e a realização de experimentos; (iii) após obtidos, os resultados são interpretados e comunicados (a outras equipes), o que pode levar à verificação ou falseamento das hipóteses e construção de novos conhecimentos; modificação das crenças e atitudes, bem como das concepções sobre a ciência; novos problemas; revisão da investigação.

Consideramos que as imagens estroboscópicas e a videoanálise têm potencial para a aprendizagem científica a partir do processo de ensino investigativo quando utilizadas num contexto de atividades prático-experimentais. O que aqui chamamos de atividades prático-experimentais são atividades que colocam o aluno num papel mais ativo na sua aprendizagem. Conforme Pereira e Moreira (2017) essas atividades envolvem além da atividade laboratorial, da atividade prática e da atividade experimental, atividades como a demonstração experimental em sala de aula dentre

outras. Trata-se de toda atividade “cujo objetivo central (...) é que o aluno compreenda a relação entre ciência e natureza” (Idem, p. 267).

Dessa forma, trabalho laboratorial não demanda necessariamente o espaço físico de um laboratório, assim como uma atividade nesse contexto de trabalho não necessariamente demanda um trabalho experimental, podendo ser um trabalho prático. Tomemos como primeiro exemplo uma atividade realizada pelo professor em uma sala de aula com a demonstração do experimento de pêndulo simples para determinação da aceleração da gravidade, em que os alunos tomem notas, registrem os dados e procedam com toda a análise do experimento, ou seja, trata-se de um trabalho experimental que não demanda o espaço do laboratório (apesar de autores usarem a expressão atividade laboratorial para esse caso)

Num ensino por investigação é essencial oferecer oportunidades que estimulem o aluno a fazer perguntas, sugerir hipóteses e projetar investigações, trabalhando tanto com o raciocínio quanto com a prática (*minds-on, hands-on*), de se envolver afetivamente em sua aprendizagem (*hearts-on*) e com os seus pares (*social-on*).

Nesta perspectiva, cabe aos professores elaborarem estratégias metodológicas que favoreçam uma maior interatividade entre os objetos de estudo e os alunos, assim como entre aluno-aluno e aluno-professor, o que podemos chamar de interatividade social (BASSOLI, 2011, p.581)

Para isso é importante que o estudante possa desenvolver uma curiosidade mais específica sobre como funcionam as tecnologias e o mundo natural (LEMKE, 2006); desenvolver a compreensão de que a ciência constitui uma forma diferente de se pensar e falar sobre o mundo, e que ela deve ser entendida como uma cultura que tem suas regras, seus valores e sua linguagem própria (CARVALHO, 2008); vivenciar e desenvolver importantes aspectos presentes na cultura científica, como a argumentação, o raciocínio hipotético-dedutivo e o estabelecimento de relações compensatórias.

Para que o conhecimento seja formulado pelos alunos nessa dinâmica de inter-relações, é necessário que ao longo do processo surjam questionamentos para que, através da dúvida, eles pesquisem, interajam entre si e com o professor, que, dentre outras habilidades necessárias, atua como um mediador; é preciso que os alunos

formulem hipóteses para que as perguntas possam ser respondidas. Observa-se que mesmo aqueles alunos com mais facilidade em compreender a dinâmica da atividade, apresentam uma série de dúvidas que precisam ser pouco a pouco esclarecidas e trabalhadas, até que eles consigam entender o que está por trás da atividade, o que seria praticamente impossível, sem o auxílio do professor e tempo suficiente. Conforme Leite, Rodrigues e Magalhães Jr. (2015, p. 51):

Fica a cargo do professor saber elaborar a pergunta certa e ouvir seus alunos, compartilhando informações com eles. Sabemos que ouvir, para quem foi educado em uma mentalidade tradicional, é bem difícil, no entanto necessário. O aluno deve expressar a própria voz, suas opiniões, e não apenas aquilo que o professor deseja ouvir. Por isso, a necessidade de as aulas de Ciências conterem atividades problematizadoras; assim, os alunos procuram soluções, testam, levantam hipóteses, dialogam com seus pares e com o professor, registram suas experiências, construindo juntos o conhecimento

Num ensino por investigação novas metas surgem para a educação científica que vão além da aprendizagem dos conteúdos presentes nos currículos. Trata-se de mudanças nas metas curriculares que acarretam alterações nos próprios conteúdos e técnicas de ensino.

As metas que mais comumente expressam aquilo que os estudantes devem aprender tem sido: 1. Adquirir conhecimento científico; 2. Aprender os processos e métodos das ciências; e 3. Compreender as aplicações da ciência, especialmente as relações entre ciência e sociedade. De acordo com essa proposta, os estudantes deveriam conhecer alguns dos principais produtos da ciência, ter experiência com eles, compreender os métodos utilizados pelos cientistas para a produção de novos conhecimentos e como a Ciência é uma das forças transformadoras do mundo Borges (2002, p. 294).

É nessa dinâmica de ensino por investigação que propomos a utilização das imagens estroboscópicas e a videoanálise como recursos para promover a aprendizagem científica. Trata-se de um ensino que valoriza mais o processo, que busca envolver os alunos, que está sempre preocupado em ser não-indutivo nas interações com o professor, que valoriza o pensamento livre, o saber prévio, o erro, o acerto, a formulação a reformulação etc. Um ensino que considera as concepções

alternativas dos alunos acerca e busca promover um conflito cognitivo, pois, assim como Azevedo (2004, p. 23), concordamos que:

(...) por meio da observação e da ação, que são pressupostos básicos para uma atividade investigativa, os alunos podem perceber que o conhecimento científico se dá através de uma construção, mostrando assim seu aspecto dinâmico e aberto, possibilitando até mesmo que o aluno participe dessa construção, ao contrário do que descrevem os livros de Ciências, em que o “método científico” é mostrado como algo fechado, uma sequência lógica e rígida, composta de passos a serem seguidos, fazendo com que o aluno pense que a ciência é fechada, criada a partir e somente da observação.

Nas palavras de Freire (2007, p. 47) é necessário “Saber que ensinar não é transferir conhecimento, mas criar possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção”. No processo de ensino por investigação que buscamos promover com as imagens estroboscópicas e a videoanálise, o contexto de aprendizagem são situações reais, filmadas a partir de dispositivos populares entre os alunos. Dessa forma buscamos compreender se as potencialidades dessa tecnologia utilizada para a educação científica permitem ao aprendiz apreender a Ciência como uma forma humana de conhecer sobre natureza. A apreensão de uma postura científica é capaz de transformar a realidade, como Freire (Ibidem, p. 68) coloca:

A capacidade de aprender, não apenas para nos adaptar mas sobretudo para transformar a realidade, para nela intervir, recriando-a, fala de nossa educabilidade a um nível distinto do nível do adestramento dos outros animais ou do cultivo das plantas. A nossa capacidade de aprender, de que decorre a de ensinar, sugere ou, mais que isso, implica a nossa habilidade de apreender a substantividade do objeto aprendido.

Contextualizando as palavras de Freire ao nosso objeto de pesquisa, aprender seria uma apropriação do conhecimento científico, dos conceitos, das leis, e *apreender a substantividade do objeto aprendido* seria o desenvolvimento de uma postura científica, do espírito investigativo, de uma postura crítica frente à natureza, frente a construção da realidade. Dessa forma é necessário que façamos uma escolha, dentre todas as possibilidades existentes, do que, dentro da nossa proposta, significa aprender. Escolhemos a Alfabetização Científica como meta para o ensino, conforme discutimos na seção a seguir.

### **3.2. A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA COMO META**

---

Desde que o ensino médio passou a ter um caráter formativo<sup>13</sup>, as metas para o ensino de Ciências foram ampliadas em relação àquelas de quando esta etapa era uma preparação para a educação superior. Essa ampliação foi demandada pela crescente necessidade de formação cidadã em relação à atuação social no que diz respeito a questões tecnológicas, científicas, sociocientíficas e ambientais. No caso da Física, a adoção do caráter formativo para o ensino médio teve influência nos currículos oficiais que passaram a indicar que a aprendizagem ocorresse com maior envolvimento dos alunos em atividades práticas interacionistas, ou seja, num ambiente de construção social do conhecimento. Podemos citar como exemplo os Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino da Física<sup>14</sup>, os PCN+ (BRASIL, 1999) que, segundo Menezes (2000) destacam uma clara posição sobre o papel da atividade prática em sala de aula: O aprendizado não deve ser centrado na interação individual de alunos com materiais instrucionais, nem se resumir à exposição de alunos ao discurso professoral, mas se realizar pela participação ativa de cada um e do coletivo educacional numa prática de elaboração cultural.

Para Carvalho (2013), a ideia de que a escola tem como finalidade fazer com que os alunos da geração atual conheçam o que já foi historicamente produzido pelas gerações anteriores foi afetada pelas modificações sociais ocorridas nas últimas décadas. Segundo a autora, dois fatores colaboraram para modificar essa ideia: um foi o aumento exponencial do conhecimento produzido o que inviabiliza a capacidade de saber tudo e o outro é o acúmulo de conhecimentos sobre como se aprende a partir dos trabalhos de epistemólogos e psicólogos. Isso implica em adotar uma didática que deixe de ser centrada na transmissão dos conhecimentos acumulados pela humanidade e passe a valorizar o processo de obtenção do conhecimento, sem se esquecer do próprio conteúdo, mas diminuindo a quantidade deste, optando pelos conhecimentos fundamentais (CARVALHO, 2013).

Trabalhar Ciências em sala de aula deixou de ser apenas privilegiar o conhecimento produzido por gerações anteriores, passando a dar espaço ao processo

---

<sup>13</sup> No Brasil isso ocorreu com a Lei de Diretrizes e Bases, a Lei 9394/1996, quando o ensino médio passou a ser a etapa final da educação básica.

<sup>14</sup> Atualmente existe uma discussão nacional sobre a implementação da Base Nacional Comum Curricular, BNCC.

pelo qual se chega a esse conhecimento; a promoção da cultura científica passou a ser componente curricular na educação brasileira e, por isso, o conhecimento desenvolvido pela Pesquisa em Ensino de Ciências sobre o que significa aprender passou a dividir espaço com as visões tradicionais de aprendizagem, como as que consideram esse processo como absorção de informações; um ensino que tem como meta inserir o aluno nessa dinâmica é um ensino que busca promover a alfabetização científica em sala de aula.

A Alfabetização Científica é um conceito muito discutido na Pesquisa em Ensino de Ciências e, por vezes definido de forma diversa. Concordamos que, se o objetivo para o ensino de Ciências é formar cidadãos aptos a atuarem criticamente na sociedade tecnológica em que vivem, a alfabetização científica é uma boa meta a ser escolhida, pois ela traz em sua definição o conjunto de habilidades capazes de permitir a reflexão fundamentada nos paradigmas da construção do conhecimento científico. Assim como Sasseron e Machado (2017, p. 11), nos referimos ao termo alfabetização científica para o

ensino de ciências cujo objetivo é a formação do indivíduo que o permita resolver problemas de seu dia a dia, levando em conta os saberes próprios das Ciências e as metodologias de construção de conhecimento próprias do campo científico. Como decorrência disso, o aluno deve ser capaz de tomar decisões fundamentadas em situações que ocorrem ao seu redor e que influenciam, direta ou indiretamente, sua vida e seu futuro.

O termo Alfabetização Científica tem origem na expressão inglesa *Scientific Literacy*, cunhada primeiramente nos EUA por Paul Hurd no seu livro “*Science Literacy: Its Meaning for American Schools*”, publicado em 1958 (SASSERON; CARVALHO, 2011a). Por se tratar de um termo com origem na língua inglesa, existem questões relativas à tradução para outras línguas, conforme Sasseron e Carvalho comentam (idem, p. 60)

Os autores de língua espanhola, por exemplo, costumam utilizar a expressão “*Alfabetización Científica*” (...) nas publicações em língua inglesa o mesmo objetivo aparece sob o termo “*Scientific Literacy*” (...) e, nas publicações francesas, encontramos o uso da expressão “*Alphabétisation Scientifique*”.

Para nós, pesquisadoras cuja língua materna é a portuguesa, o problema ganha novas proporções quando da tradução dos termos: a expressão inglesa vem sendo traduzida como “Letramento

Científico”, enquanto as expressões francesa e espanhola, literalmente falando, significam “Alfabetização Científica”.

Hoje, a *Scientific Literacy* é uma concepção de ensino reconhecida em nível mundial. A tradução literal para a língua portuguesa, no português de Portugal, é literacia científica, porém Cachapuz et al (2008) consideram que o termo Alfabetização Científica é um sinônimo para a tradução literal:

O termo “literacia científica”, de origem norte americana (...), estendeu-se, praticamente, com maior ou menor incidência, a todos os países. Surge, contudo, principalmente com os sinónimos “alfabetização científica” (países francófonos e, nomeadamente, em Portugal, Brasil e Espanha), “compreensão pública da ciência” (originário e comum no Reino Unido) e “cultura científica”, sendo esta última a designação adoptada pela UNESCO. (Idem, p. 29)

Há também pesquisadores que consideram o termo Enculturação Científica. Carvalho (2008) coloca que permitir a apropriação da cultura científica pelos alunos é uma obrigação da escola. Da mesma forma que é na escola que os alunos se apropriam das diversas culturas produzidas pela humanidade, como as culturas literária, artística, esportiva, histórica e social, também é na escola que os alunos devem ter oportunidade de se inserir na cultura científica. De acordo com Sasseron e Carvalho,

Os autores brasileiros que usam a expressão “Enculturação Científica” partem do pressuposto de que o ensino de Ciências pode e deve promover condições para que os alunos, além das culturas religiosa, social e histórica que carregam consigo, possam também fazer parte de uma cultura em que as noções, ideias e conceitos científicos são parte de seu corpus. Deste modo, seriam capazes de participar das discussões desta cultura, obtendo informações e fazendo-se comunicar. (p. 60)

Apesar de os termos Alfabetização e Letramento científico terem origem no termo inglês *Scientific Literacy*, alguns autores apresentam diferenças conceituais entre os dois. Santos (2007) coloca que na gênese do termo em inglês, por volta da década de 50 do século XX no auge da Guerra Fria com o lançamento do satélite russo *Sputinik*, os EUA se apressaram no investimento para a formação de mão-de-obra para as carreiras científicas, “o que levou à elaboração de projetos curriculares

com ênfase na vivência do método científico” (p. 477). Essa demanda deu uma conotação para a *Scientific Literacy* relacionada ao fazer ciência no sentido de “preparar os jovens para adquirir uma postura de cientista, pensando e agindo no seu cotidiano como cientistas” (idem). Porém, no final da década de 70,

(...) com o agravamento de problemas ambientais, começou a surgir uma preocupação dos educadores em ciência por uma educação científica que levasse em conta os aspectos sociais relacionados ao modelo de desenvolvimento científico e tecnológico. Foi assim que começou a surgir em diversos países, no final dos anos de 1970 e no início da década seguinte, propostas curriculares para a educação básica com ênfase nas inter-relações ciência-tecnologia-sociedade (ibidem)

Essas duas concepções para a educação científica, uma relacionada à compreensão do conteúdo científico e outra à função social da Ciência, influenciaram a dicotomia conceitual, em língua portuguesa, entre a Alfabetização Científica e o Letramento Científico: a primeira incorpora os conhecimentos relativos às especificidades do conhecimento científico, ao passo que a segunda incorpora as consequências desse conhecimento nas sociedades.

Nessa polissemia de significados para a tradução ao termo em inglês, escolhemos uma conceituação que considera aspectos relacionados tanto à Alfabetização Científica, quanto à Enculturação Científica e ao Letramento Científico. Isso porque ao nosso ver, para a educação científica, há indissociabilidade entre os significados dos termos e, por isso, escolhemos a conceituação de Sasseron e Machado (2017, p. 11)

A concepção de ensino de ciências que defendemos (...) pode ser vista como um processo de *enculturação científica* dos alunos, em que se promovam condições para que os alunos sejam inseridos em mais uma cultura, a cultura científica. Também pode ser entendida como um *letramento científico*, se o considerarmos o conjunto de práticas às quais uma pessoa lança mão para interagir com o seu mundo e os conhecimentos dele. No entanto, usaremos a expressão “Alfabetização Científica” ao pensar, planejar e objetivar uma concepção de ensino que permita aos alunos interagir com uma nova cultura, com uma nova forma de ver o mundo e seus acontecimentos.

Sasseron e Carvalho (2011a, p. 67) levantaram na literatura da Pesquisa em Ensino de Ciências quais as habilidades que caracterizam uma pessoa ser

alfabetizada cientificamente. Fica evidente nesse levantamento a imbricação entre os termos para a tradução de *Scientific Literacy*, uma vez que há habilidades relacionadas ao conceito de Alfabetização Científica (conhecimento científico - a, b e c), ao conceito de Enculturação Científica (cultura científica - d, e, f e g) e ao Letramento Científico (implicações sociais do conhecimento científico - h e i):

- (a) Utiliza os conceitos científicos e é capaz de integrar valores, e sabe fazer por tomar decisões responsáveis;
- (b) Conhece os principais conceitos, hipóteses e teorias científicas e é capaz de aplicá-los;
- (c) Compreende as aplicações das tecnologias e as decisões implicadas nestas utilizações;
- (d) Aprecia as Ciências e as tecnologias pela estimulação intelectual que elas suscitam;
- (e) Compreende que a produção dos saberes científicos depende, ao mesmo tempo, de processos de pesquisas e de conceitos teóricos;
- (f) Faz a distinção entre os resultados científicos e a opinião pessoal;
- (g) Reconhece a origem da ciência e compreende que o saber científico é provisório, e sujeito a mudanças a depender do acúmulo de resultados;
- (h) Reconhece também os limites da utilidade das Ciências e das tecnologias para o progresso do bem-estar humano;
- (i) Compreende que a sociedade exerce controle sobre as Ciências e as tecnologias por meio do viés das subvenções que a elas concede;

Portanto, para que uma pessoa seja considerada alfabetizada cientificamente ela deve possuir habilidades relativas ao (i) conhecimento científico, (ii) à cultura científica e (iii) às implicações sociais do conhecimento científico. Não concebemos uma hierarquia em relação a esse conjunto de habilidades, pois, ao nosso ver, todas são igualmente importantes. Ao fim de uma etapa de escolarização com ênfase na Alfabetização Científica, um aluno pode ter desenvolvido mais a primeira habilidade, ao passo que outro, que interagiu no mesmo grupo, tenha desenvolvido melhor uma outra. A própria definição de desenvolver mais ou menos uma determinada habilidade é uma questão bastante subjetiva. O importante é que, enquanto docentes, “nossa responsabilidade maior no ensinar Ciência é procurar que nossos alunos e alunas se transformem, com o ensino que fazemos, em homens e mulheres mais críticos” e que “possam tornar-se agentes de transformações – para melhor – do mundo em que vivemos” (CHASSOT, 2000, p. 63).

Outra habilidade importante a ser desenvolvida quando se busca a promoção da Alfabetização Científica é a de ler e escrever. Isso porque o próprio fazer Ciência envolve essa habilidade. Um conhecimento para ser considerado científico precisa ser aceito pela comunidade científica, passando por avaliações e julgamentos que ocorrem quando os resultados são publicados em artigos de revistas, teses, livros, entre outros meios de divulgação. Sendo a inserção dos alunos na cultura científica um dos objetivos da Alfabetização Científica, a habilidade de ler e escrever, de comunicar Ciência, se torna fundamental para a Ciência escolar, conforme entendem Suisso e Galieta (2015, p. 994):

Podemos entender, portanto, que ensinar Ciências é inscrever o sujeito em uma estrutura social – a da Ciência escolar – e que, para isso, deve-se levar em conta que tal estrutura está fortemente influenciada pelo aspecto fundamental da escrita nas Ciências e, portanto, pela linguagem científica escolar. Em outras palavras, para se inscrever na estrutura social da Ciência escolar, o sujeito precisa dominar a leitura e a escrita científica escolar. (p. 994)

A ênfase na linguagem como uma habilidade para a Alfabetização Científica está no fato de que ela se configura como um recurso para a construção de significados. Uma vez que um conceito ou uma ideia científica somente faz sentido quando se compreende as suas relações, suas diferenças e similitudes com outros conceitos e ideias, para que a construção do conhecimento ocorra de forma coletiva nas aulas de Ciências, é preciso que o aprendiz expresse as relações entre os significados, que compreenda a semântica dos termos utilizados, que fale ciência. Nesse sentido, Lemke (1997) considera que aprender Ciência é aprender a falar Ciência e, “para falar Ciência, ou qualquer outra matéria, temos que expressar relações entre os significados de diferentes conceitos, e a semântica é o estudo de como usamos a linguagem para fazer isto” (p. 12, tradução nossa).

Inserir os alunos na cultura científica é inseri-los numa comunidade de pessoas que compartilham crenças, ideias e valores, comunidade de pessoas que falam na linguagem da Ciência, a qual o professor pertence, mas o aluno não. Portanto, quando o professor utiliza dessa linguagem para dar sentido a um tema da aula, os alunos podem empregar uma linguagem para formar uma visão do mesmo tema de forma diferente, ou seja, empregar sua própria linguagem. Para Lemke (idem) essa é uma

razão da dificuldade em se comunicar Ciência que pode ser suplantada quando passamos a encarar o ensino de Ciências como um processo social de introdução dos alunos, ao menos parcialmente, dentro dessa comunidade de pessoas que falam Ciência. Para esse autor,

Em qualquer circunstância em que fazemos Ciência, adotamos formas de falar, raciocinar, observar, analisar e escrever que aprendemos em nossa comunidade e que empregamos para construir conclusões e argumentos (grifo nosso) que chegam a fazer parte da Ciência apenas quando compartilhados por essa comunidade. (p. 13, tradução nossa)

Percebemos que a linguagem científica é fator importante não apenas para a comunidade científica, mas, também, para a aprendizagem das Ciências e, por isso, falar ciência é uma habilidade a ser desenvolvida pela educação científica. Falar Ciência não se trata de simplesmente repetir as palavras, mas de construir significados essenciais com suas próprias palavras, relacionar explicações e provas, dados e conclusões, ou seja, comunicar através da argumentação.

Sasseron e Carvalho (2011b, p. 100) entendem a argumentação “como todo e qualquer discurso em que aluno e professor apresentam suas opiniões em aula, descrevendo ideias, apresentando hipóteses e evidências, justificando ações ou conclusões a que tenham chegado, explicando resultados alcançados”. Nesse sentido, um bom argumento é evidência de aprendizagem científica, conforme coloca Jimenez Aleixandre (2010, p. 23): “A argumentação é uma das ferramentas das quais dispomos para avaliar o conhecimento”.

O uso da argumentação vem sendo proposto para a educação em Ciências tanto com objetivo de um ensino que envolva o aluno na cultura científica quanto para avaliar estratégias e métodos de ensino pela Pesquisa em Ensino de Ciências. “Muitos são os trabalhos na área de Didática das Ciências que põem em foco o uso das argumentações em sala de aula ou em outros espaços da formação escolar” (SASSERON; CARVALHO, 2011b, p. 98). Por outro lado, a argumentação também “tem sido amplamente utilizada em trabalhos que analisam situações educacionais em Ciências (SASSERON, 2014, p. 41).

No nosso caso, que buscamos verificar de que forma a utilização da videoanálise e das imagens estroboscópicas como recursos colaboram para a

Alfabetização Científica, preparamos uma metodologia de ensino por investigação que, a partir de demonstrações baseadas em vídeos, a qual discutiremos na seção a seguir.

### **3.3 INTERVENÇÕES DIDÁTICAS DE INVESTIGAÇÃO BASEADA EM VÍDEO**

---

Em nossa concepção, o maior diferencial da utilização de imagens estroboscópicas e videoanálise - que são produzidas a partir de um vídeo - em relação às precursoras fotografias estroboscópicas - produzidas em laboratório fotográfico com flash múltiplo - é permitir que movimentos do cotidiano possam ser contextos para o ensino por investigação. Como todo movimento observável pode ser filmado nas condições para que o vídeo sirva como material didático, não há limites para movimentos a serem investigados em aula, dependendo, a escolha, apenas das necessidades dos alunos e das habilidades docentes. É um ensino que propõe a investigação de movimentos reais tem potencial inovador, conforme colocam Malheiro e Fernandes (2015):

“(...) o recurso ao Trabalho Experimental Investigativo, com objetivo de resolver um problema real e/ou cotidiano, constitui uma estratégia pedagógica com potencial inovador, porquanto possibilita o trabalho em grupo, a pesquisa e a construção de novos conhecimentos e, por isso também, potenciadora de aprendizagens mais amplas e significativas para os alunos” (p. 80).

Reconhecendo o potencial inovador da resolução de problemas reais a partir do vídeo, e visando o trabalho em grupo, a pesquisa e a construção de novos conhecimentos em sala de aula, desenvolvemos uma metodologia de ensino que permite ao aluno aprender com interatividade, com características de um trabalho científico o que, em nossa concepção de ensino, permite a incorporação de elementos da cultura científica, ou seja, um Ensino por Investigação. Carvalho (2013) coloca a importância da proposição de um problema aos alunos para metodologia de ensino por investigação. É a partir da proposição do problema que os alunos passam a interagir, levantando hipóteses, fazendo previsões, trazendo para a aula suas

concepções prévias sobre o fenômeno a ser estudado. Portanto, a proposição de um problema é etapa fundamental no ensino por investigação e, segundo a autora, ele pode ser na forma de um “problema experimental”, “problema não experimental” ou “demonstração investigativa”.

Em nossa metodologia, na fase de demonstração do movimento filmado, o vídeo é exibido a toda a classe a partir da projeção com *Datashow* e, por isso, consideramos a forma de proposição do problema como uma “demonstração investigativa”, ou seja, a partir da demonstração inicia-se o processo de investigação. Na estrutura da metodologia, para a demonstração utilizamos a estratégia de ensino interativa POE (WHITE; GUNSTONE, 1992) e para a investigação as Sequências de Ensino Investigativas (CARVALHO, 2013).

White e Gunstone apresentaram uma estratégia de ensino que permite a interação dos alunos com um problema proposto pelo professor na forma de demonstração experimental, a estratégia interativa POE (Previsão-Observação-Explicação). Nela, o problema acerca de um fenômeno a ser demonstrado é proposto aos alunos e eles o respondem em três momentos: Antes da demonstração (etapa P), à luz da demonstração (etapa O) e após a demonstração (etapa E).

Cada uma das etapas POE tem potencial para a educação científica no ensino por investigação. Antes da demonstração, quando o professor faz uma descrição do fenômeno e solicita aos alunos fazerem suas previsões (etapa P), os alunos têm oportunidade de considerar todo conhecimento que trazem consigo, seja ele escolarizado (concepções científicas) ou não (concepções prévias). Feitas todas as previsões o professor procede à demonstração do vídeo para a observação pela classe (etapa O). Nesta etapa podem ocorrer duas situações: (i) a observação corrobora a previsão, o que pode ser uma evidência de que o aluno traz consigo conhecimento, escolarizado ou não, acerca do fenômeno, ou (ii) a observação refuta a previsão, o que pode promover um conflito cognitivo, elemento que, de acordo com Carvalho e Villani (2004) permite a “conquista da fenomenologia científica” (p. 86) que, na estratégia POE, é oportunizada na etapa de explicação (etapa E). Nesta etapa, tanto os alunos que tenham incorrido na situação (i) quanto na (ii), são solicitados a formularem sistematicamente, em grupo, com riqueza de detalhes, explicações para o fenômeno. É importante que nessa etapa eles possam manipular o vídeo, ter

controle sobre variações possíveis, que tenham acesso a livros, internet, que interajam entre si e com o docente, que planejem novos experimentos, que comuniquem resultados (para isso podem usar a linguagem escrita, a linguagem matemática ou ainda se expressar através de diagramas), construam argumentos etc.

A estratégia POE vem sendo utilizada e pesquisada desde a década de 90 com bons resultados para a educação científica mediada por recursos tecnológicos. Tao e Gunstone (1999) investigaram o processo de mudança conceitual com alunos do ensino médio numa escola católica em Melbourne. O ensino foi mediado por simulações computacionais (situações idealizadas) que foram desenvolvidas para confrontar concepções alternativas dos alunos sobre a necessidade de haver força para que haja movimento. Durante as intervenções onde foi realizada a pesquisa os alunos trabalharam colaborativamente e, apesar da utilização de simulações computacionais e da estratégia POE, os alunos ofereceram certa resistência em relação à mudança conceitual, oscilando entre as suas concepções prévias e as “observações” feitas na simulação. Os autores concluíram que, por si só, a estratégia POE não é garantia de aprendizagem científica, e que, para que isso ocorra, são necessárias estratégias que confrontem o pragmatismo do conhecimento fundamentado no senso comum. Nossa perspectiva sobre os resultados de Tao e Gunstone é de que o pragmatismo pode ser confrontado a partir de estratégias de ensino por investigação associadas à estratégia POE.

Kearney (2004) apresentou resultados acerca de uma pesquisa com estudantes australianos que buscou verificar as implicações da metodologia POE na aprendizagem em ciência mediada por tecnologia, porém, diferente de Tao e Gunstone, este não utilizou simulações, mas Demonstrações Baseadas em Vídeo (DBV). Citamos três conclusões desse autor sobre as demonstrações associadas à estratégia POE. A primeira é que a estratégia permitiu um controle dos estudantes sobre o ritmo da sua aprendizagem. Uma outra conclusão foi de que, na fase da Observação, as DBV se configuram como uma refinada ferramenta para fazer observações detalhadas dos fenômenos físicos e, portanto, melhoram a qualidade do feedback sobre suas previsões anteriores. A terceira conclusão é que o fato de os vídeos serem de comportamentos reais, e não idealizados, fornecem contextos interessantes e relevantes para a motivação em aprender. Os resultados foram

obtidos num ambiente de aprendizagem aos pares, numa perspectiva sócio construtivista, considerando as concepções pré-instrucionais dos alunos para uma reflexão crítica acerca do fenômeno observado e considerando também as opiniões de todos os participantes num processo de negociação entre os pares para a formulação da explicação.

Kuçukozer (2008) utilizou a estratégia POE e a Modelagem Computacional em 3D para investigar as mudanças conceituais em alunos num curso de formação de professores de Ciências da universidade de *Balıkesir* na Turquia. Nesse caso, a modelagem computacional foi sobre os temas estações do ano e as fases da lua, situações reais sobre as quais os alunos traziam concepções alternativas. O autor verificou a ocorrência de mudança conceitual, favorecida pela utilização do recurso computacional e da estratégia POE indicando o potencial da associação entre a estratégia e o recurso.

Rakkapao et al. (2014) também investigaram a utilização da estratégia POE no contexto do ensino de força e movimento num ensino mediado por recursos computacionais disponíveis *on line* (*PhET* e *MIT Open Course Ware*). A pesquisa foi com estudantes calouros do curso de Engenharia da Faculdade de Ciências na *Prince of Songkla University*, na Tailândia, e os autores confirmaram que, em turmas com grande número de alunos, a estratégia POE é mais eficaz em relação à tradicional estratégia de resolução de problemas, mas que, contudo, os alunos tiveram dificuldades em compreender as leis de Newton.

Santos e Sasaki (2015) aplicaram a estratégia POE numa turma de mecânica da Educação de Jovens e Adultos na cidade do Rio de Janeiro com alunos de faixa etária entre 18 e 50 anos. Os autores mediram o ganho de aprendizagem entre a aplicação de um pré e um pós teste, o que indicou um ganho global pequeno, mas, para temas específicos, como as leis de Newton, os ganhos foram maiores. De um modo geral a “pesquisa indica que um programa de ensino com base na metodologia POE tem um bom potencial para promover a aprendizagem de mecânica em turmas de Educação de Jovens e Adultos” (p. 8).

Do exposto pode-se concluir que existe potencial para o aprendizado interativo e colaborativo de Ciências com estratégia POE associada a um recurso tecnológico que mostre o fenômeno real e que considere o conhecimento prévio do aluno. Porém

é preciso considerar que, para um ensino que busca a Alfabetização Científica, é necessário considerar os problemas apresentados por Tao e Gunstone (1999), como a persistência do senso comum. Acreditamos que numa intervenção que trabalha elementos relativos à cultura científica, tal que o aprendiz compreenda Ciência como uma forma humana de interagir com a natureza, assim como existem outras, essa dificuldade possa ser minimizada. Para esse fim, escolhemos as Sequências de Ensino Investigativas propostas por Carvalho (2013).

As Sequências de Ensino Investigativas-SEI possibilitam que as aulas ocorram de fato como um processo de investigação. A primeira parte da SEI é o problema. Ele é apresentado aos alunos para que trabalhem em grupo na solução. A apresentação do problema pode ser dividida em quatro etapas. A etapa 1 consiste na distribuição do material e na proposição do problema pelo professor; a segunda etapa é a de solução do problema pelos alunos; a terceira etapa é a de sistematização dos conhecimentos elaborados no grupo e a etapa 4 é de escrever e diagramar, cuja finalidade é a sistematização individual do conhecimento ensinado. Na sequência vem a parte 2 de leitura de um texto, parte 3 de contextualização social e a parte 4 de avaliação (figura 21).

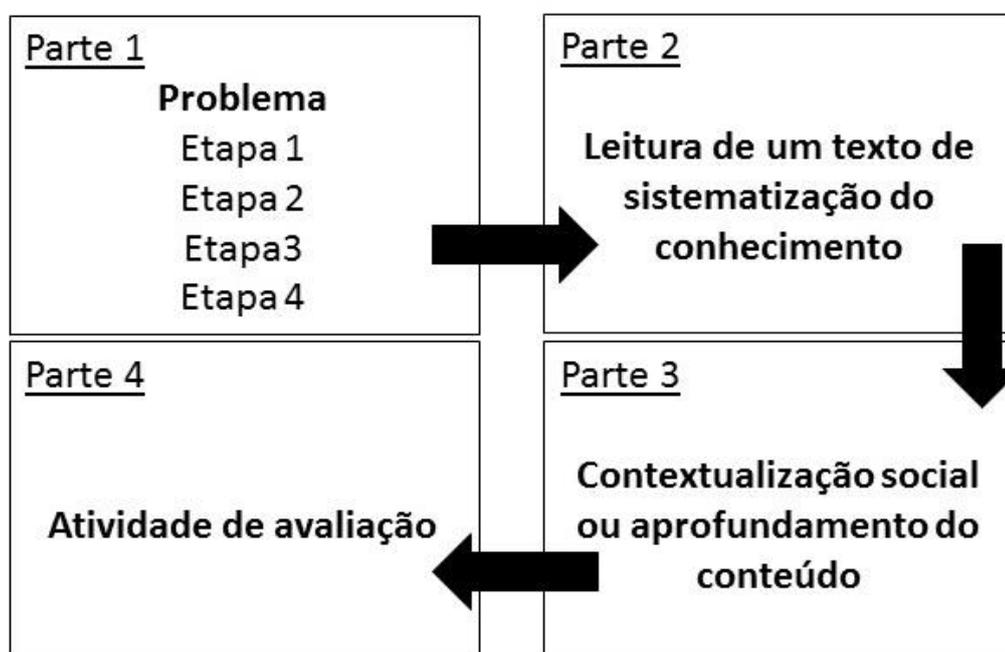


Figura 21 – Esquema das Sequências de Ensino Investigativas propostas por Carvalho. O objetivo dessa proposição é que as aulas ocorreram como um processo de investigação didática.

Portanto, o que chamamos de Intervenções Didáticas de Investigação Baseadas em Vídeo é uma metodologia de ensino que utiliza os recursos imagens estroboscópicas e videoanálise com estratégia de ensino investigativo SEI e interativo POE para a Resolução de problemas reais. Essas escolhas buscam transformar a sala de aula numa comunidade de aprendizagem, onde os alunos aprendem Ciência estabelecendo, desestabelecendo, reestabelecendo o conhecimento científico, numa dinâmica em que as concepções prévias são utilizadas nas suas formulações. Ou seja, numa dinâmica *hands on, minds on* e *hearts on*, na própria sala de aula, favorecendo assim a interação social, ou de acordo com Bassoli (2014) *social-on*. Com isso esperamos alcançar nosso objetivo geral, que é a formação de um cidadão crítico e com cultura científica, com espírito investigativo; ou seja, alunos alfabetizados cientificamente.

O quadro 1 mostra as interseções entre os objetivos de ensino dos referenciais escolhidos para a metodologia de ensino com Intervenções Didáticas de Investigação.

Quadro 1 – Organização dos referenciais de ensino utilizados numa Intervenção Didática de Investigação Baseada em Vídeo. Fonte: o autor.

<b>Estratégia POE</b>	<b>Proposta SEI</b>	<b><i>Minds-on, hands-on, hearts-on e social-on</i></b>
Previsão	<p><u>Parte 1</u> - Proposição do Problema.</p> <p>-Etapa (i) Descrição da demonstração que ocorrerá no vídeo projetado para toda a turma e proposição do <i>Problema</i>;</p> <p>-Etapa (ii) Discussão entre os alunos em grupo para resolução do Problema;</p> <p>-Etapa (iii) Sistematização e formulação de uma resposta para o grupo;</p> <p>-Etapa (iv) Escrever e desenhar a previsão sistematizada pelo grupo.</p>	-Uma situação problemática aberta é colocada e em seguida os alunos elaboram suas previsões considerando o corpo de conhecimento que levam consigo, escolarizado ou espontâneo.
Observação	<p><u>Parte 1</u> – Proposição do Problema</p> <p>-Etapa (ii) Discussão entre os alunos em grupo para resolução do Problema;</p> <p>-Etapa (iii) Sistematização e formulação de uma resposta para o grupo;</p>	<p>- Elaboração de modelos, hipóteses e estratégias para a contrastação empírica entre a Previsão e a Observação;</p> <p>- Confronto cognitivo e possível mudança conceitual.</p>
Explanação	<p><u>Parte 2</u> - Texto de Sistematização do conhecimento (material didático impresso – livro)</p> <p><u>Parte 3</u> - Contextualização Social ou Aprofundamento do Conteúdo feita pelos próprios alunos.</p>	- A partir de um corpo de conhecimentos (teoria) a situação é analisada e o problema é definido de uma forma mais precisa.

### **3.4 EXEMPLO DE UMA INTERVENÇÃO DIDÁTICA COM INVESTIGAÇÃO BASEADA EM VÍDEO – O CASO DO LANÇAMENTO OBLÍQUO<sup>15</sup>**

---

Apresentamos o exemplo de uma intervenção didática que propõe a investigação do movimento de uma bola lançada obliquamente impulsionada por uma raquete, na modalidade conhecida como frescobol. O objetivo é proporcionar a Alfabetização Científica dos alunos (SASSERON; CARVALHO, 2011). A aprendizagem orientada como um processo de investigação, a partir da interação entre os alunos e um vídeo produzido por eles próprios, foi mediada por recursos como a Videoanálise (BROWN, 2008) e a Imagem Estroboscópica do movimento da bola (DIAS; CARVALHO; VIANNA, 2016 e DIAS; CARVALHO; RODRIGUES, 2016). A metodologia de ensino associando os recursos já citados propõe uma intervenção didática para promover uma aprendizagem a partir da estratégia interativa POE - Prever/Observar/Explicar (WHITE; GUNSTONE, 1992) e seguindo os passos de uma Sequência de Ensino Investigativa – SEI (Carvalho, 2013). Deste modo possibilita aos alunos vivenciarem aspectos relativos à cultura científica (CARVALHO, 2008). Esta intervenção didática ocorreu em uma turma do ensino médio-técnico de uma escola da Baixada Fluminense (Nilópolis-RJ). As interações entre os alunos durante a construção de argumentos que respondessem à situação problema proposta pelo professor foram registradas em áudio e transcritas. Em fase de análise dos dados a presença de Indicadores de Alfabetização Científica nas falas dos alunos se manifestam, tanto na dimensão estruturante quanto epistemológica (SASSERON; CARVALHO, 2013). Ao observarmos o desenvolvimento da atividade, estamos considerando que a utilização do vídeo feito por/para os alunos como material de ensino, associada à uma metodologia de ensino por investigação, permite naquele contexto escolar uma aprendizagem dos conceitos físicos envolvidos, as leis e as relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade, o que indica que os recursos utilizados na pesquisa têm potencial para o ensino investigativo. Apresentaremos uma sistematização dos dados com análise durante o evento.

---

<sup>15</sup> Esse exemplo foi apresentado em forma de painel no Encontro de Ensino por Investigação na Universidade de São Paulo em maio de 2017.

Página do evento: <http://www.veradata.com.br/eneci/?q=node/256> - acessado em 25/10/2017.

### 3.4.1. PROPOSIÇÃO DO PROBLEMA AOS ALUNOS – INVESTIGANDO O LANÇAMENTO OBLÍQUO

A figura 22 retrata duas situações nas quais uma bola foi lançada pela pessoa do lado esquerdo para a recepção pela pessoa do lado direito. Nas duas situações a bola foi lançada com velocidades iniciais de mesmo módulo, mas na situação (A) a distância entre o ponto de lançamento e o de recepção foi 2 metros e na situação (B) essa distância foi de 4 metros.

*Como podemos comparar os intervalos de tempo entre o lançamento e a recepção nas duas situações?*

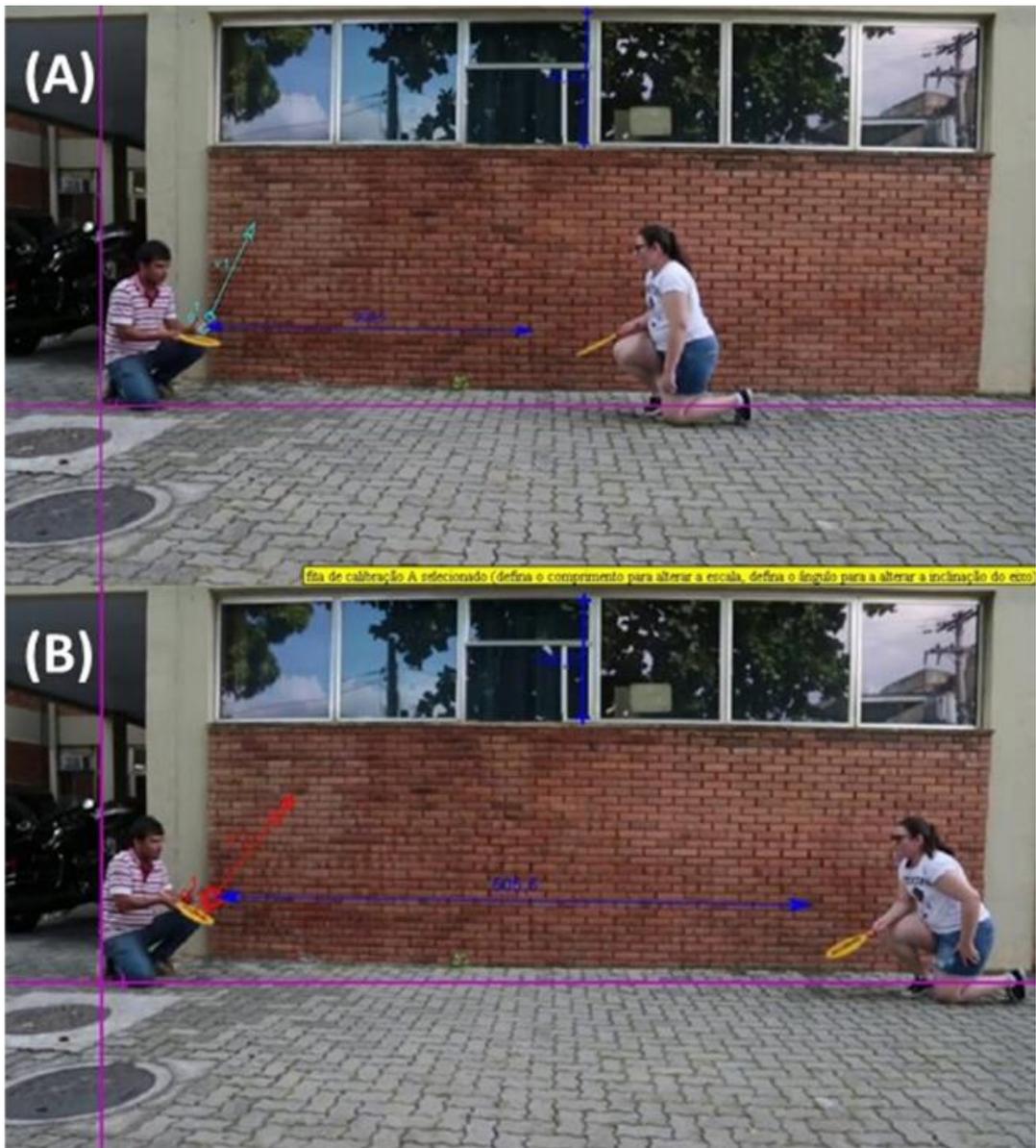


Figura 22 – Imagem para proposição do problema aos alunos e solicitação de formulação das suas previsões.

### 3.4.2. ETAPA DA OBSERVAÇÃO

A observação dos lançamentos ocorre inicialmente durante a exibição do próprio vídeo. Em seguida, a leitura dos intervalos de tempo é feita a partir das Imagens Estroboscópicas, que fornecem essa informação a partir da contagem da quantidade de posições registradas nas imagens. Na figura 23 apresentamos um exemplo de como a Imagem Estroboscópica pode ser utilizada para determinar o tempo de movimento.



Figura 23 – Imagem estroboscópica do movimento de uma bola de frescobol

### 3.4.3. INVESTIGANDO O MOVIMENTO COM A VIDEOANÁLISE

Como se trata de um problema real e aberto, as explicações para a observação de que a bola com maior alcance leva menos tempo são baseadas em dados obtidos com a videoanálise. Nessa fase da intervenção propõe-se aos aprendizes que formulem suas explicações acerca do observado a partir dos dados da posição e da velocidade em cada uma das situações. Esses dados são auferidos *on time* pelo professor com o software *Tracker*. As explicações dos alunos consideram as diferentes alturas máximas como fator importante. Por outro lado, podemos sugerir que eles analisem como variam as posições  $x$  em cada situação, o que indica que as velocidades horizontais são diferentes, ainda que o módulo da velocidade inicial seja o mesmo.

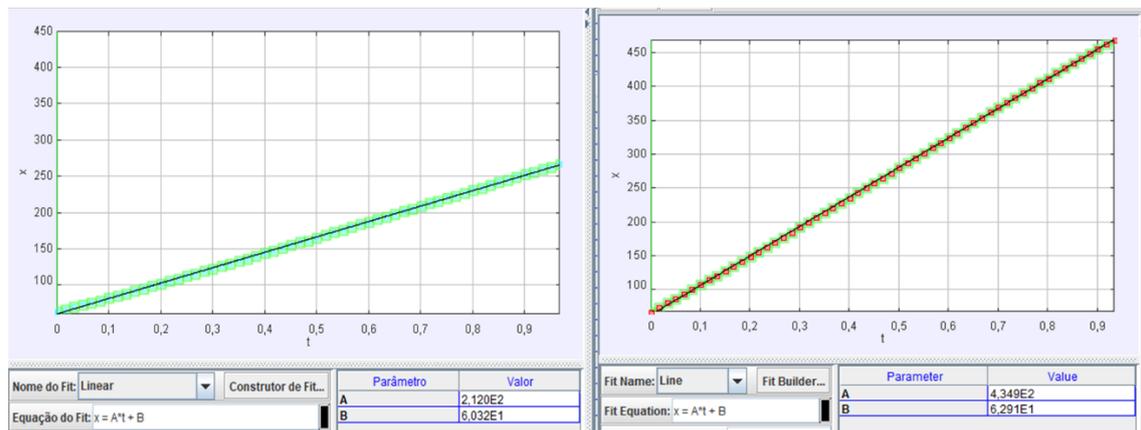


Figura 24 –Gráficos das variações das posições  $x$  com o tempo da bola de frescobol nas duas situações. Os coeficientes angulares das retas mostram que, mesmo com a mesma intensidade de velocidade inicial, suas projeções horizontais têm valores diferentes. Com isso leva menos tempo o movimento cuja razão entre a distância percorrida e a velocidade horizontal seja menor.

Essa Metodologia de ensino vem sendo aplicada em intervenções didáticas a fim de compreender de que forma elas contribuem para a Alfabetização Científica (CARVALHO, 2013), no âmbito desta pesquisa. Com isso chegamos a algumas conclusões preliminares que serão discutidas com maior profundidade no capítulo 5:

- Os recursos utilizados e a metodologia dão oportunidade para os alunos aprenderem ativamente a partir da interação com o fenômeno, com os pares, com o professor e com o desenvolvimento de uma postura investigativa;
- Os recursos possibilitaram ao professor propor a resolução de um problema real aos alunos, e que eles tiveram grande envolvimento na solução das questões advindas do problema proposto;
- A observação do movimento por parte dos alunos a partir das IE, demonstrou que um vídeo se configura como uma refinada ferramenta para fazer observações detalhadas dos movimentos, o que melhora as discussões acerca do que foi previsto em relação ao que foi observado;
- Os resultados confirmam o potencial desses recursos para a Alfabetização Científica (CARVALHO, 2013), uma vez que toda a construção da explicação para o que foi observado, se deu a partir das interações e com a presença de diversos Indicadores de AC (SASSERON; CARVALHO, 2008) nas falas dos alunos;

- Concluimos que numa metodologia de ensino investigativa, as imagens estroboscópicas e a videoanálise são recursos complementares para a construção do conhecimento científico;

No capítulo seguinte apresentamos alguns resultados sobre a utilização desses recursos para o planejamento e aplicação de intervenções didáticas de investigação em diversos contextos, alguns dos quais se tornaram possíveis apenas com os recursos de vídeo.

#### 4. IMAGENS ESTROBOSCÓPICAS E VIDEOANÁLISE COMO RECURSOS DIDÁTICOS PARA UM ENSINO INVESTIGATIVO

---

*Momentos de crise civilizatória como os que estamos vivendo valorizam, certamente, o papel da educação. Educação em um sentido amplo. (...) Momentos de transição como esses podem fornecer-nos elementos significativos para uma reflexão sobre uma nova escola. Uma escola que possa superar a atual, ainda calcada nos velhos paradigmas da civilização em crise e que não conseguiu solucionar os problemas propostos pela própria modernidade.*  
(PRETTO, N. L., 2013. p. 121)

O acesso à tecnologia, algo consolidado em nossa sociedade, vem promovendo modificações nas relações das pessoas entre si e com a informação que, em diferentes níveis de confiabilidade, está disponível nos servidores de internet mundo afora. A escola, enquanto lugar de construção social do conhecimento e da formação de cidadãos mais preparados para lidar com questões contemporâneas, precisa acompanhar as mudanças que vêm ocorrendo na sociedade. Para Pretto (2013, p. 126) a escola vem “experimentando uma invasão dessa cultura tecnológica, seja por uma pressão direta da indústria cultural, de equipamentos, entretenimento e comunicação, seja pela pressão exercida pelos próprios alunos”. Repensar o papel da escola em relação às tradicionais formas de ensino significa incorporar ao cotidiano escolar a utilização das tecnologias disponíveis às pessoas e, ao incorporar as tecnologias, é preciso uma reflexão sobre as metodologias de ensino e também sobre os conteúdos a serem ensinados mediados por essas novas tecnologias.

Ao longo dos anos em que esta pesquisa de doutorado ocorreu, tivemos oportunidade de refletir de que modo as tecnologias atuais poderiam colaborar para uma melhora na qualidade da educação em Ciências. Tendo em mente os pressupostos que citamos no capítulo anterior, de que a educação científica deve ocorrer, sempre que possível, como um processo de investigação a fim de promover a Alfabetização Científica, produzimos um conjunto de artigos exemplificando formas com as quais movimentos reais, bem controlados ou não, podem ser contexto de investigação com diversos enfoques.

Alguns exemplos são tradicionais, como no caso da esfera que rola sobre uma canaleta inclinada e das ondas estacionárias em molas elásticas. Mesmo estes são apresentados com enfoques de ensino previstos como meta para a Alfabetização Científica, como um enfoque histórico-epistemológico para o movimento da esfera no plano inclinado (seção 4.1) e um enfoque experimental para as ondas estacionárias em mola elástica (seção 4.2).

Por outro lado, há exemplos inovadores em termos curriculares e que são passíveis de investigação na educação básica graças à disponibilidade dos recursos tecnológicos associados ao vídeo. O primeiro é o artigo do lançamento oblíquo com rotação de um martelo a fim de investigar, com a vídeoanálise, o comportamento do centro de massa do martelo (seção 4.3); na sequência apresentamos três artigos que exemplificam de que forma movimentos do cotidiano das pessoas podem ser contexto de ensino da mecânica, que são o movimento de um atleta da modalidade olímpica *skateboarding* (seção 4.4) no qual contextualizamos uma investigação sobre as leis de Newton, o movimento de uma bailarina na execução de um *Grand Jeté* no qual investigamos o efeito de flutuação do corpo da bailarina durante o salto (seção 4.5) e, por fim, o movimento de uma bola de basquete lançada por um aluno para a cesta para contexto do lançamento oblíquo da esfera (seção 4.6).

Esses exemplos mostram de que forma o ensino da Física pode contribuir para que a velha escola, com os “velhos paradigmas de uma civilização em crise”, conforme a citação de Pretto no início do capítulo, possa ser substituída por uma escola contemporânea, mais reflexiva na sua própria função social; uma escola que possa promover, também, as culturas científica e tecnológica, tão necessárias na vida das pessoas para a construção de um mundo socialmente mais justo, para uma melhora na relação homem-natureza; uma escola que ‘abra seus portões’ para que os alunos levem para ela as atividades que realizam fora da escola, a fim de que sejam contexto de aprendizagem científica.

Os exemplos serão apresentados em seções, *ipsis litteris*, na forma de artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais e também em eventos nacionais de ensino. É importante destacar que as figuras, quadros e tabelas deste capítulo seguem a numeração original das publicações, não sendo, por isso, uma numeração sequencial da tese como um todo. Os artigos não foram sequenciados na ordem

cronológica de publicação, e sim organizados numa sequência de enfoques de ensino que vão desde um enfoque em história da ciência até a Física nos esportes.

## **4.1 ARTIGO 1 - O EXPERIMENTO DO PLANO INCLINADO NA PERSPECTIVA DA VIDEOANÁLISE: A EPISTEMOLOGIA DE GALILEU COMO CONTEXTO DE ENSINO<sup>16</sup>**

---

### **Resumo**

Neste trabalho discutimos a utilização de recursos tecnológicos na consecução de um experimento histórico com um enfoque na História e Filosofia da Ciência. O experimento do plano inclinado, considerado um dos mais importantes na História da Ciência, é cenário de uma discussão acerca do caráter experimentalista e/ou hipotético indutivista de seu conseqüentor, Galileu Galilei. Por um lado, há historiadores que argumentam que as habilidades instrumentais de Galileu o permitiram, com métodos rudimentares de medida de espaço e tempo, que ele tenha chegado à constância entre a distância percorrida e o quadrado do intervalo de tempo gasto para percorrê-la, evidenciando se tratar de um movimento com aceleração constante; por outro lado, há os que argumentam que Galileu chegou matematicamente ao resultado. Não é nossa intenção buscar evidências em favor de um ou de outro posicionamento, mas, por se tratar de um experimento proposto nos currículos da educação básica, o contexto histórico do movimento de esferas rolando em plano inclinado nos permite levar para as aulas de Física aspectos relativos à História e Filosofia da Ciência nos cursos de ensino básico e de graduação. Ao refazer o experimento com a videoanálise, os resultados nos mostram que a natureza da ciência, seus limites e sua construção, podem ser proporcionados nas aulas de mecânica da partícula.

### **O experimento do plano inclinado**

O movimento retilíneo de esferas rolando sem deslizamento em plano inclinado está presente em cursos de Física em todos os níveis. Em seu contexto os livros didáticos idealizam problemas de mecânica da partícula e sugerem experimentos nos quais os alunos tomam dados e modelam o movimento da esfera a partir de diferentes formas de fazer medidas, como trilhos de ar com centelhadores, sensores ópticos, sensores ultrassom e vídeos.

Originalmente o movimento de uma esfera no plano inclinado foi proposto por Galileu (1564-1642). A atenuação da aceleração gravitacional sobre o movimento da esfera proporcionada pelo plano permitiu o estudo sistemático do movimento naturalmente acelerado com os recursos experimentais disponíveis em sua época. Com esse experimento, Galileu buscou confirmar sua hipótese de que as velocidades dos corpos em queda variam uniformemente e que a razão entre distâncias percorridas e o quadrado do tempo gasto para percorrê-las, quando a esfera parte do repouso, é um valor constante [1].

---

<sup>16</sup>Este artigo, elaborado com a colaboração de outros autores, foi submetido à Revista Brasileira de Ensino de Física em 05-12-2017. Atualmente estamos aguardando o parecer dos avaliadores.

Considerado como o experimento que marcou a gênese do método empirista de construção do conhecimento científico, o experimento do plano inclinado de Galileu foi eleito em 2002 pela revista *Physics World*, numa enquete entre seus leitores, como o oitavo experimento mais belo da física [2]. Com esse experimento Galileu associou a linguagem matemática à experimentação, com a realização de medidas, organização dos dados, busca de regularidades, generalizações e extrapolação de resultados. Assim Galileu conseguiu modelar um movimento a partir dos dados de um experimento, dando início à chamada Ciência Moderna. Para Araujo Filho a rotina de análise utilizada por Galileu revolucionou o estudo do movimento. *Essa nova postura frente aos fatos serviu de alavanca para se obter uma descrição melhor e mais precisa dos fenômenos* [3].

Entretanto, há um debate entre os historiadores da ciência sobre a real execução do experimento por Galileu, uma vez que os recursos disponíveis eram imprecisos para que a constância  $d/\Delta t^2$  fosse verificada. Entre os historiadores da Ciência há os que acreditam que Galileu obteve a relação racionalmente e há os que acreditam que ele tenha obtido a partir da experiência, ou seja, uma visão racionalista e outra empirista. A fim de verificar a possibilidade de Galileu ter sido empirista, alguns autores reproduziram o experimento do plano inclinado e verificaram a possibilidade de os resultados apresentados por Galileu terem sido obtidos experimentalmente [4,5,6]. Porém, *decidir se Galileu realizou o experimento não é uma tarefa fácil. Os argumentos prós e contras são muito consistentes e coerentes* [4].

Ao analisar os *Discorsi*, verificamos que em grande parte do seu trabalho Galileu privilegia o raciocínio lógico na tentativa de interpretar a natureza. Por outro lado, na mesma obra, Galileu valoriza a observação sistematizada dos fenômenos naturais em detrimento da observação simples fundamentada no senso comum. Assim, a epistemologia galileana alimenta uma discussão sobre Galileu ter obtido a constância do movimento uniformemente acelerado a partir da experimentação ou se ele simplesmente utilizou a razão.

Dentre os livros didáticos do PNLD para o ensino médio do triênio 2015-2017, o livro de Pietrocola [7] propõe o estudo do movimento de uma esfera num plano inclinado no contexto histórico, porém sem inserir a polêmica acerca da epistemologia galileana. Mesmo assim, com a forma com a qual o experimento é apresentado no texto fica clara a tendência em supor um caráter racionalista do experimento, uma vez que a razão  $d/\Delta t^2$  é induzida matematicamente.

Percebemos com isso a importância histórica e epistemológica do experimento do plano inclinado e a possibilidade de se ensinar conceitos e leis da mecânica no contexto da história da Ciência. Por isso realizamos o experimento, filmamos, e as medidas da posição em cada instante foram auferidas com a técnica da videoanálise. Nosso intuito foi analisar o comportamento da constante de Galileu em intervalos de tempo curto e, com isso, verificar as possibilidades de ensino da cinemática da partícula num contexto histórico e epistemológico com a utilização das novas tecnologias. Verificamos que o estudo desse movimento com os recursos digitais permite que, além de aprender os conceitos e modelos da cinemática, o aprendiz possa compreender de que forma o conhecimento científico é construído.

## O experimento do Plano Inclinado na perspectiva da Videoanálise: a busca pela constante de Galileu

Uma esfera metálica com capa emborrachada, reaproveitada de um *mouse*, rolou a partir do repouso, sem deslizamento, por uma calha de alumínio com perfil U, inclinada em 5 graus. A filmagem foi feita no formato HD a uma taxa de captura de 60 frames por segundo. A câmera foi colocada com a lente na altura da posição média da canaleta a 6 metros de distância perpendicularmente ao plano onde ocorreu o movimento. O fator de escala, segmento azul, está em centímetros e foi inserido com o programa *Tracker* [8]. O enquadramento foi feito com o zoom óptico da câmera *Cannon EOS Mark III*. Toda a montagem foi no intuito de diminuir os efeitos de paralaxe e de aberração da lente. Na figura 1 mostramos a Imagem Estroboscópica da esfera rolando sobre a canaleta, que foi produzida a partir do vídeo que registrou o movimento, como propuseram Dias, Barros e Amorim [9].

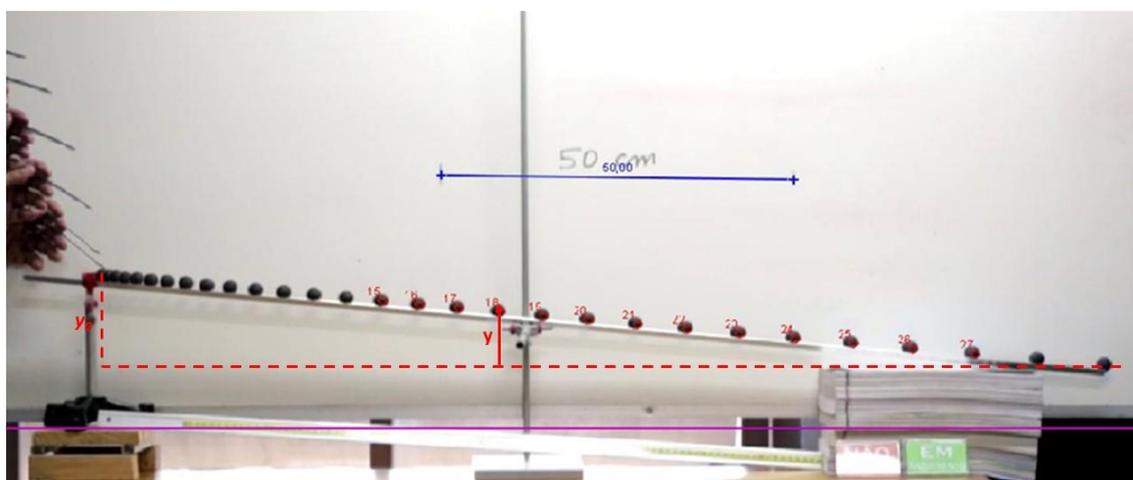


Figura 1 – montagem do experimento do plano inclinado. Foi utilizada uma canaleta de alumínio com perfil U sobre a qual rolou uma esfera metálica com capa emborrachada de mouse. A superposição digital de frames para a produção dessa imagem estroboscópica ocorreu pulando-se de cinco em cinco frames e, por isso, nessa imagem o intervalo de tempo entre duas posições consecutivas é de 83 milissegundos.

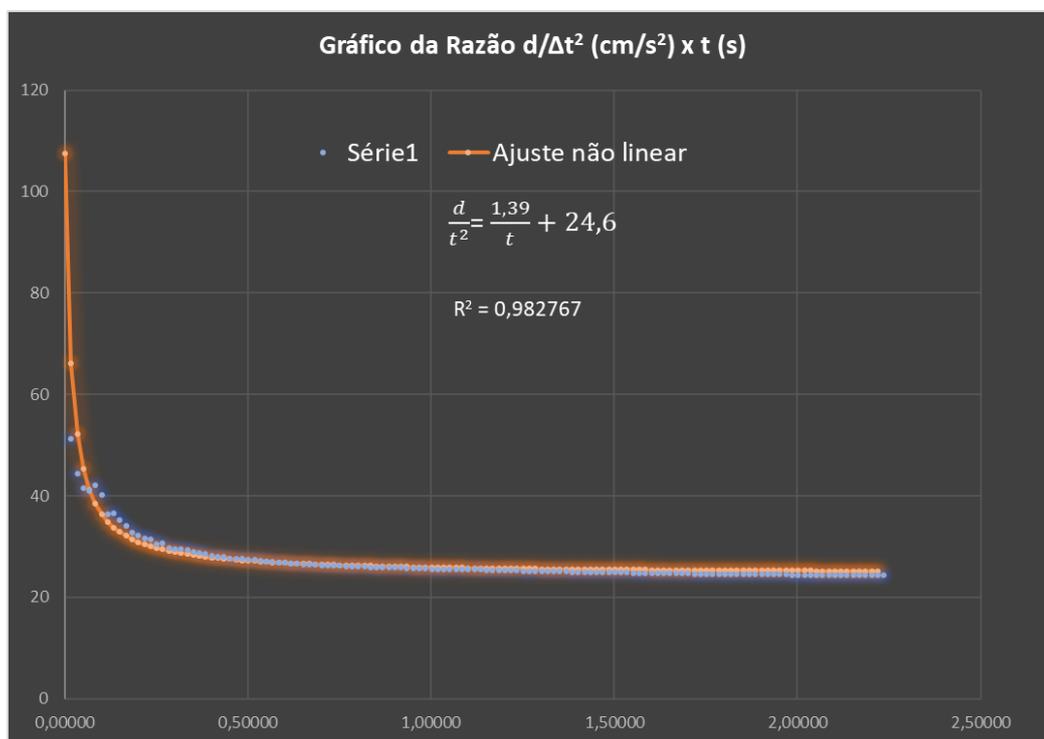
Com o auxílio de uma caneta, a esfera foi mantida em contato com a parte fixa, limitadora, na extremidade esquerda do sistema. Para iniciar o movimento a caneta foi suspensa e, assim, o movimento da esfera se deu a partir do repouso.

Considerando que a energia potencial gravitacional que a esfera possui na posição  $y_0$  se converte em energia cinética translacional e energia cinética rotacional, a velocidade da esfera varia de acordo com a equação 1, na qual  $K$  é o raio efetivo de rotação devido aos dois pontos de contato entre a esfera e a calha com perfil **U** [14],  $R$  o raio da esfera,  $y$  a posição vertical e  $g$  a aceleração da gravidade no local:

$$v^2 = \frac{2g(y_0 - y)}{1 + \left(\frac{K^2}{R^2}\right)} \dots \dots \dots (1)$$

Portanto, o movimento da esfera que rola sobre a calha com dois pontos de contato é com aceleração translacional constante, o que nos permite buscar a constante de Galileu. O fato de a filmagem ter sido feita com 60 frames por segundo permitiu que, com a videoanálise, fosse tomada uma grande quantidade de dados da posição da esfera ao longo da sua trajetória. A partir desses dados, foi determinada a razão  $d/\Delta t^2$  para todos os instantes do movimento, considerando o instante inicial  $t=0$  s e a distância percorrida pela esfera da origem do movimento até o instante em questão. Os dados estão no Apêndice e o gráfico 1 mostra o comportamento da razão em cada instante do movimento.

Gráfico 1 – comportamento da razão  $d/\Delta t^2$  para o movimento de uma esfera rolando sem deslizamento sobre uma canaleta num plano inclinado. No gráfico estão os pontos experimentais, o ajuste linear, a equação ajustada e o fator de correlação.



A análise dos resultados revela que, mesmo com a precisão da videoanálise e com os controles sobre o experimento, não obtivemos o valor constante para a razão  $d/\Delta t^2$ , como conseguiu Galileu. Como podemos verificar no gráfico 1, a curva que melhor se ajustou aos pontos experimentais foi uma hipérbole, e não uma reta horizontal como deveria ser para um valor constante da razão. De fato, os resultados mostram que esse valor tende a se tornar constante para as posições e os intervalos de tempo correspondentes à segunda metade do movimento.

A hipótese a ser considerada para que a razão seja constante é que o movimento da esfera seja registrado a partir do repouso, ou seja, a velocidade inicial seja nula. Caso contrário, ainda que com um pequeno valor para  $v_0$ , a razão só tende a uma constante com o aumento do tempo em que o movimento ocorre. Na equação 2 verificamos que,

caso a esfera não parta do repouso, o comportamento da razão  $d/\Delta t^2$  é hiperbólico, conforme revelaram os dados no gráfico.

$$d = v_0 \cdot \Delta t + \frac{a \cdot \Delta t^2}{2}$$

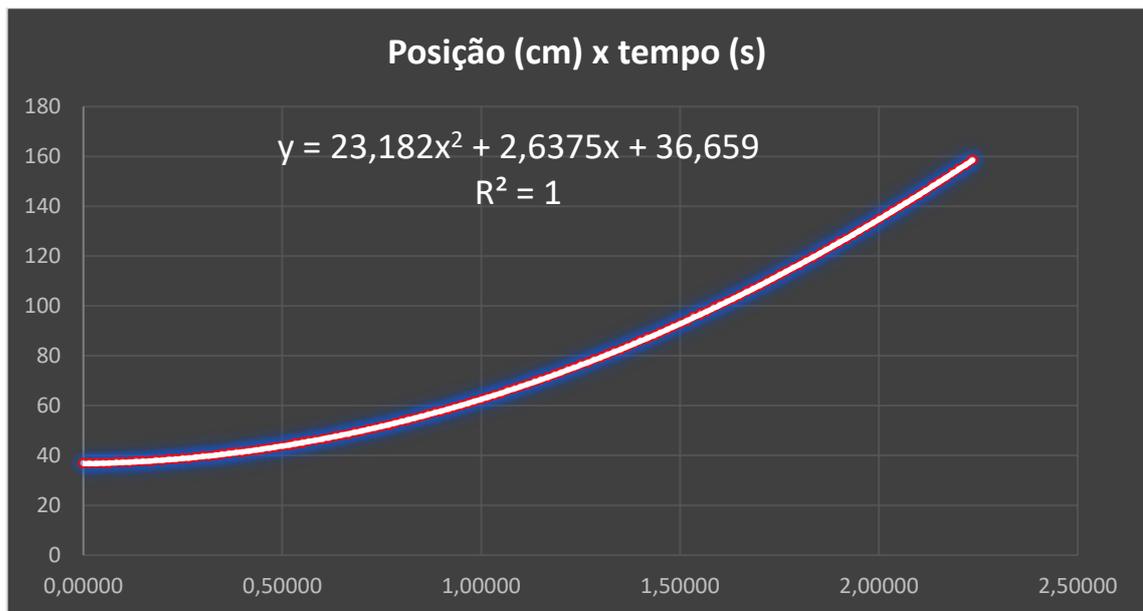
$$\frac{d}{\Delta t^2} = \frac{v_0}{\Delta t} + \frac{a}{2} \dots\dots\dots(2)$$

### Discussão: por que é difícil medir a constante de Galileu?

Mesmo com o controle experimental a fim de que a análise do movimento ocorresse a partir do repouso – e de fato as medidas da posição foram feitas num vídeo em que fica evidente a velocidade inicial nula - os dados revelam a persistência de um valor considerável de velocidade inicial. Isso ocorre por dois motivos que analisaremos a seguir, um inerente ao próprio método experimental iniciado por Galileu (i) e outro inerente à videoanálise (ii).

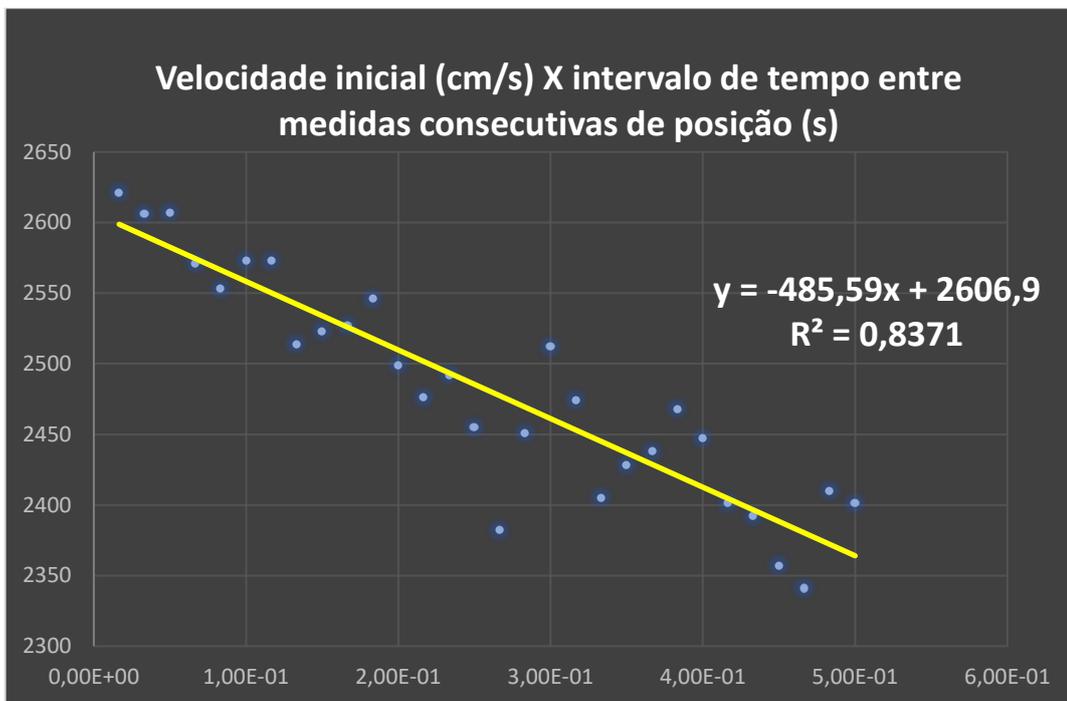
(i) Em relação ao método experimental, mesmo quando se dispõe de recursos para que as medidas de posição se iniciem a partir do repouso, como no caso da videoanálise, os procedimentos de modelagem dificultam que o valor da velocidade inicial, obtido a partir da derivada da posição no tempo, seja nulo. Experimentalmente, as velocidades da esfera em cada intervalo de tempo são calculadas pelo teorema do valor médio enunciado por Galileu no livro *Discorsi* [10]. No limite para quando o tempo gasto pela esfera para percorrer uma distância tende a zero, a velocidade calculada para a esfera pelo teorema do valor médio se aproxima do valor da velocidade instantânea da esfera. Aqui temos uma limitação imposta pelo próprio método fundado por Galileu: por um lado as distâncias percorridas num movimento com aceleração constante são proporcionais ao quadrado do tempo, i.e., ao passo que transcorre o movimento as distâncias percorridas aumentam linearmente enquanto o tempo aumenta quadraticamente; por outro lado, as velocidades instantâneas, incluindo a velocidade inicial, são calculadas pelo teorema do valor médio como uma razão entre a distância percorrida (que transcorre aumentando em primeira potência) e o tempo gasto (que transcorre aumentando em segunda potência), implicando que, quanto maior seja o intervalo de tempo entre o registro de duas medidas consecutivas de posições, menor seja o valor da velocidade inicial para movimentos com mesma aceleração. Como em nosso experimento o intervalo de tempo entre duas medidas foi a sexagésima parte de um segundo ( $\Delta t = 0,0167$  s) a velocidade inicial assume um valor  $v_0 = 2,64$  cm/s, conforme podemos verificar no gráfico 2, da posição em função do tempo para o mesmo movimento da esfera no plano inclinado. Esse gráfico mostra o ajuste parabólico aos pontos experimentais com fator de correlação  $R^2 = 1$ , indicando que se trata de um movimento com aceleração constante, mas com velocidade inicial da esfera diferente de zero, ainda que na prática, as medidas tenham sido iniciadas com a esfera em repouso.

Gráfico 2 – posição em função do tempo para o movimento da esfera em rolamento sem deslizamento sobre a canaleta no plano inclinado



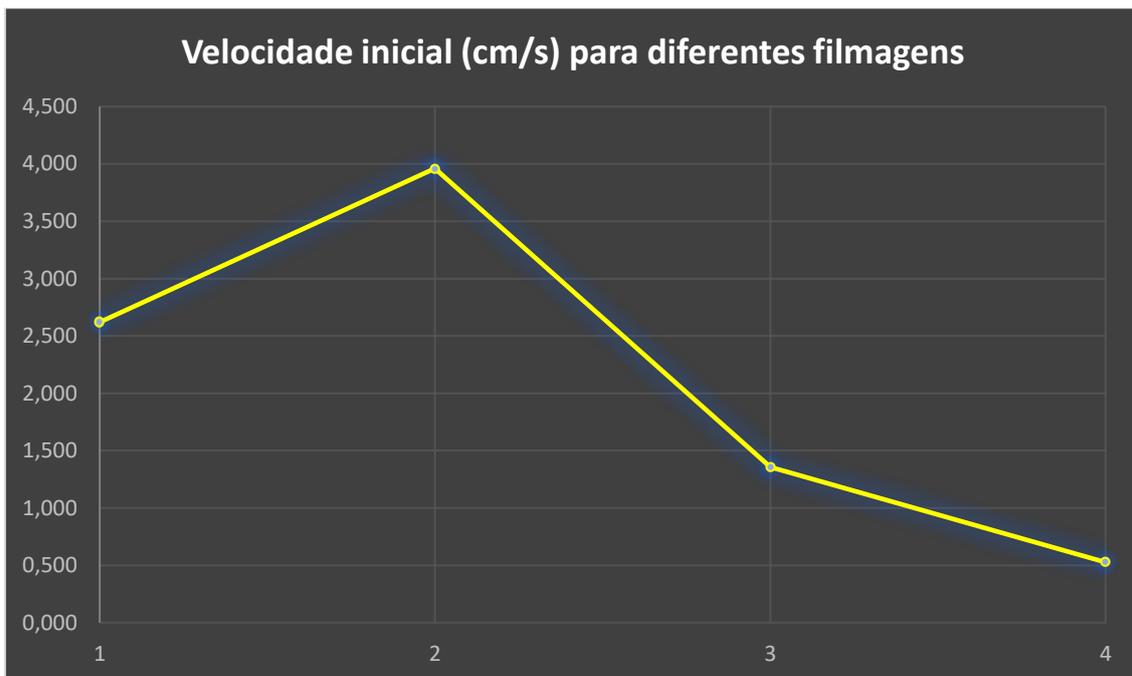
Portanto, quanto maior a capacidade técnica de tomada de dados mais difícil é obter a razão de Galileu como um valor constante. O *software* de videoanálise *Tracker* permite que escolhamos a quantidade de dados a ser analisada. Na prática a quantidade de dados do movimento de um corpo que podem ser obtidos pela videoanálise é a quantidade total de *frames* do vídeo do movimento do corpo que, no nosso exemplo, foram 161 *frames*. Porém o *Tracker* tem um recurso de *pular frames* e com ele conseguimos aumentar o intervalo de tempo entre duas medidas. Assim conseguimos verificar que conforme aumentamos o intervalo de tempo da medida entre duas posições consecutivas, a velocidade inicial - obtida pelo ajuste linear dos dados da posição em função do tempo para cada intervalo de tempo de medidas consecutivas - vai diminuindo. Fizemos essas medidas para intervalos de tempo de até meio segundo por ser esse um valor que julgamos compatível com o que Galileu poderia ter feito com os recursos que dispunha, e os resultados estão no gráfico 3. Aqui parece que a imprecisão instrumental de Galileu pode ter favorecido a ele obter o resultado constante para a razão  $d/\Delta t^2$ .

Gráfico 3 – valor da velocidade inicial da esfera no plano inclinado para intervalos de tempo de medida da posição variando de 0,017 s até 0,5 s.



(ii) Em relação à videoanálise, quando produzimos um vídeo do movimento de um corpo geralmente iniciamos a gravação instantes antes de deflagrarmos o movimento. Por mais que tenhamos alto controle sobre o abandono do corpo é muito difícil sincronizar o instante inicial em que o móvel deixa o repouso com o instante inicial do registro da câmera no *frame* correspondente a esse evento. Por isso, num vídeo existe sempre uma diferença entre o instante em que se inicia o movimento da esfera e o instante em que se inicia a gravação, o que faz com que a posição inicial do corpo registrada não seja correspondente ao repouso, mas sim a um instante em que o corpo esteja em movimento. Trata-se de um fator flutuante para a determinação da posição inicial da esfera, pois mesmo em vídeos feitos com a mesma taxa de captura, a posição inicial pode ter sido registrada em diversos instantes dentro do intervalo de tempo da captura do frame que registra a posição inicial. E essa flutuação na determinação da posição inicial implica em resultados discrepantes para a velocidade inicial conforme podemos verificar no gráfico 4, que informa valores de velocidades iniciais discrepantes para o movimento de uma mesma esfera num mesmo plano, abandonada a partir do repouso, filmada quatro vezes pela mesma câmera.

Gráfico 4 - Valores flutuantes da velocidade inicial para uma mesma taxa de captura (60 fps) em quatro filmagens do mesmo experimento.



A diferença entre os instantes de início do movimento da esfera e de registro em *frame* pela câmera é tanto menor quanto maior quanto maior for a taxa de captura de vídeo. Entretanto, por mais que se aumente a taxa de captura a dificuldade de sincronização desses instantes não deixa de existir e, por isso, o método da videoanálise dificulta a obtenção da constante. Com os instrumentos rudimentares dos quais dispunha Galileu, ele obteve dados menos volumosos e mais imprecisos em relação aos nossos e, com isso, nos parece possível que ele tenha tido um controle maior sobre a sincronicidade entre instantes iniciais do movimento e da tomada de dados, tornando maiores as suas chances de verificação que, com a esfera partindo do repouso, a razão  $d/\Delta t^2$  é constante.

Nossos resultados mostram que por mais que a ciência conte com recursos tecnológicos para aprofundamento da compreensão humana acerca do universo, há sempre um limite imposto pela natureza do próprio conhecimento científico. A dificuldade em se conseguir experimentalmente resultados para um movimento que tenha iniciado a partir do repouso é inerente ao próprio método experimental fundado por Galileu. Porém, percebemos que a razão tende a um valor constante com o passar do tempo e, por isso, podemos considerá-la como praticamente constante. A existência de limites impostos pelos paradigmas científicos não é impeditiva para o avanço do conhecimento sobre a natureza, pois, assim como aprendemos com a epistemologia galileiana, saber o que se desconsiderar numa observação é tão ou mais importante do que saber o que se considerar.

### **Considerações finais**

Nos últimos anos, a crescente popularização dos dispositivos fotográficos digitais permitiu que o estudo dos movimentos sob aceleração da gravidade fosse proposto num contexto que considera a investigação feita por Galileu, utilizando fotografia ou vídeo como ferramenta para se fazer medidas. Em nossa opinião é importante que nesses casos a tecnologia não seja utilizada apenas como uma ferramenta de investigação, mas também como um recurso que suscite uma reflexão sobre o

conhecimento científico, os avanços tecnológicos e as transformações sociais experienciadas pelas gerações pós-ciência.

Alguns autores têm apresentado propostas nesse sentido. Por exemplo, com uma câmera que registra automaticamente, em intervalos regulares de tempo, Carrascosa, Peres e Vilches [11] mostraram como o movimento de queda de uma esfera pode ser investigado com a modelagem do movimento feita a partir da própria fotografia. Esses autores colocam ainda que, nesse caso, “é importante fazer aos estudantes notarem que na época de Galileu não se dispunha, obviamente, de meios adequados tanto para a medida precisa dos tempos quanto para sua automatização”, e que a escolha de Galileu em estudar o movimento da esfera no plano inclinado se deu com o intuito de atenuar a aceleração da gravidade e, com isso, seu estudo poder ser feito com os instrumentos rudimentares desenvolvidos por ele; Lotero [12] também utilizou uma câmera fotográfica como ferramenta para investigação e recurso para reflexão e, nesse sentido, o autor coloca que “séculos atrás, Galileu Galilei usou uma clepsidra e as pulsações do coração para medir o tempo (...) utilizando um plano inclinado para reduzir a velocidade de queda (...)”. Esse autor ainda propõe uma reflexão sobre “se Galileu tivesse uma câmara digital, o ser humano não precisava ter que esperar até chegar à lua para comprovar empiricamente suas ideias”.

É mister o desenvolvimento de novas formas para educar as gerações que crescem em uma sociedade digital e, para isso, as câmeras que capturam foto e vídeo se mostram como recursos potenciais para a transformação da sala de aula num ambiente de práticas de investigação e reflexão histórica, com enfoque na cultura científica, na sua filosofia e epistemologia. Por isso a nossa proposta de realização do experimento do plano inclinado na perspectiva da videoanálise não objetivou verificar nem falsear Galileu, mas sim, pôr em evidência aspectos centrais do processo de aquisição do conhecimento científico, tais como a criatividade instrumental, a extrapolação de resultados, a delimitação de interações e o ajuste/adaptação entre a teoria e a realidade [13].

Nossa proposta de refazer o experimento do plano inclinado não se concentrou na discussão sobre se Galileu fez ou não o experimento, mas sim que o método experimental, com rusticidade ou tecnologia, permite uma nova forma de interpretar a natureza. Mesmo com Galileu não dispondo dos recursos que hoje dispomos, o método por ele inventado, com toda rusticidade, permitiu que se iniciasse um processo de compreensão dos fenômenos naturais que culminaram no que hoje conhecemos por conhecimento científico, responsável pelos avanços tecnológicos e pelas transformações sociais vividas em nossa contemporaneidade.

[1] G. Holton, F. J. Rutherford e G. W. Flecher, *Projecto Física - Unidade 1* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1985), v. 1, p. 54.

[2] Disponível em <http://physicsworld.com/cws/article/print/2002/sep/01/the-most-beautiful-experiment>. Acesso em 22/06/2017.

[3] W. D. Araújo Filho, *A gênese no pensamento galileano* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2008), v. 1, p. 67.

- [4] M. C. D. Neves, J. M. Batista, J. R. Costa, L. C. Gomes, M. C. Batista, P. A. Fusinato, F. R. Almeida, R. G. R. Silva, A. A. Savi, R. F. Pereira, Galileu fez o experimento do plano inclinado? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7, 226 (2008).
- [5] W. D. Araújo Filho, *A gênese no pensamento galileano* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2008), v. 1, p. 80.
- [6] R. R. Soares, P. F. Borges, O plano inclinado de galileu e a história da ciência na sala de aula do ensino médio de física, in *XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Curitiba, 2008.
- [7] M. Pietrocola, A. Pogibin, R. Andrade e T. R. Romero, Física em Contextos pessoal, social e histórico (Editora FTD, São Paulo, 2010), v. 1, p. 116.
- [8] D. Brown e A. J. Cox, *The Physics Teacher*, v.47, 145 (2009).
- [9] M. A. Dias, S. S. Barros e H. S. Amorim, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, 492 (2009).
- [10] *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze. Giornata terza, Del moto naturalmente accelerato, Teorema 1, proposizione 1. Pág. 62.* Disponível em <http://www.fmboschetto.it/didattica/DimostrazioniMatematiche.pdf>. Acesso em 22/06/2017.
- [11] J. Carrascosa, D. G. Pérez e A. Vilches, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.23, n.2, 157 (2006).
- [12] L. A. A. Lotero, *Enseñanza de las Ciencias*, v.32, n.1, 243 (2014).
- [13] S. M. Arruda, M. R. Silva e C. E. Laburú, *Investigações em Ensino de Ciências*, v.6, n.1, 97 (2001).
- [14] J. R. Pimentel e M. A. Silva, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.22, n.2, 209 (2005).

Apêndice – Dados da posição  $x$  (cm) e da razão  $d/\Delta t^2$  para cada instante do movimento da esfera sobre a canaleta.

t (s)	x (cm)	d/ $\Delta t^2$	t (s)	x (cm)	d/ $\Delta t^2$	t (s)	x (cm)	d/ $\Delta t^2$	t (s)	x (cm)	d/ $\Delta t^2$
0,000	36,84		0,567	45,55	27,05	1,134	69,57	25,43	1,702	108,26	24,66
0,017	36,86	51,20	0,584	46,02	26,91	1,151	70,52	25,41	1,718	109,64	24,65
0,033	36,89	44,42	0,601	46,50	26,77	1,168	71,44	25,37	1,735	111,00	24,63
0,050	36,95	41,59	0,617	47,00	26,67	1,185	72,40	25,34	1,752	112,41	24,62
0,067	37,03	40,98	0,634	47,56	26,66	1,201	73,36	25,31	1,768	113,83	24,62
0,083	37,14	42,20	0,651	48,08	26,55	1,218	74,35	25,29	1,785	115,24	24,60
0,100	37,25	40,15	0,667	48,66	26,55	1,235	75,36	25,27	1,802	116,65	24,58
0,117	37,34	36,34	0,684	49,25	26,52	1,251	76,33	25,22	1,818	118,06	24,56
0,133	37,50	36,63	0,701	49,79	26,36	1,268	77,37	25,21	1,835	119,54	24,55
0,150	37,64	35,20	0,717	50,38	26,30	1,285	78,44	25,20	1,852	120,99	24,54
0,167	37,79	34,01	0,734	50,99	26,26	1,301	79,45	25,16	1,869	122,50	24,53
0,184	37,95	32,78	0,751	51,61	26,19	1,318	80,49	25,12	1,885	123,97	24,51
0,200	38,13	32,17	0,767	52,24	26,14	1,335	81,57	25,11	1,902	125,48	24,51
0,217	38,33	31,57	0,784	52,88	26,09	1,351	82,65	25,08	1,919	127,02	24,50
0,234	38,55	31,38	0,801	53,58	26,10	1,368	83,74	25,06	1,935	128,57	24,49
0,250	38,75	30,42	0,817	54,25	26,04	1,385	84,84	25,03	1,952	130,12	24,48
0,267	39,03	30,63	0,834	54,91	25,97	1,401	85,93	25,00	1,969	131,67	24,47
0,284	39,23	29,64	0,851	55,63	25,95	1,418	87,08	24,98	1,985	133,24	24,46
0,300	39,50	29,47	0,868	56,29	25,84	1,435	88,25	24,97	2,002	134,81	24,44
0,317	39,80	29,42	0,884	57,04	25,83	1,451	89,42	24,96	2,019	136,38	24,43
0,334	40,11	29,31	0,901	57,79	25,81	1,468	90,58	24,93	2,035	138,02	24,42
0,350	40,40	28,99	0,918	58,57	25,80	1,485	91,77	24,92	2,052	139,64	24,41
0,367	40,71	28,72	0,934	59,35	25,78	1,502	93,00	24,91	2,069	141,29	24,41
0,384	41,04	28,50	0,951	60,14	25,76	1,518	94,17	24,87	2,085	142,93	24,39
0,400	41,37	28,21	0,968	60,92	25,71	1,535	95,49	24,89	2,102	144,59	24,38
0,417	41,71	27,98	0,984	61,71	25,66	1,552	96,63	24,83	2,119	146,28	24,38
0,434	42,11	27,98	1,001	62,50	25,60	1,568	97,87	24,81	2,135	147,99	24,37
0,450	42,46	27,69	1,018	63,36	25,61	1,585	99,12	24,79	2,152	149,68	24,36
0,467	42,89	27,70	1,034	64,19	25,56	1,602	100,39	24,77	2,169	151,41	24,36
0,484	43,30	27,60	1,051	65,07	25,55	1,618	101,63	24,74	2,186	153,13	24,35
0,501	43,71	27,40	1,068	65,91	25,50	1,635	102,96	24,73	2,202	154,89	24,34
0,517	44,15	27,34	1,084	66,81	25,48	1,652	104,26	24,71	2,219	156,67	24,34
0,534	44,60	27,23	1,101	67,71	25,46	1,668	105,57	24,69	2,236	158,47	24,34
0,551	45,07	27,13	1,118	68,64	25,45	1,685	106,88	24,67			

## **4.2. ARTIGO 2 – A VIDEOANÁLISE PARA COMPREENSÃO DO FENÔMENO DAS ONDAS ESTACIONÁRIAS EM MOLAS ELÁSTICAS**

---

Este é um exemplo de estudo sistemático realizado com a videoanálise. O movimento ondulatório é de interesse em várias áreas do conhecimento e, por isso, está presente nos currículos de ensino e nos livros didáticos. Em geral o ensino dos fenômenos ondulatórios, nesse caso a reflexão produzindo as ondas estacionárias numa mola elástica, é proposto de forma simbólico-dedutiva, mas, conforme apresentamos no artigo a seguir, podemos utilizar o potencial das imagens estroboscópicas em ‘congelar o movimento’ para a visualização global do fenômeno e a videoanálise para a tomada de dados e busca por regularidades.

Esse artigo foi publicado no volume 55 no periódico americano *The Physics Teacher*, em 2017, páginas 232 a 234.

---

### **Standing Waves in an Elastic Spring: A Systematic Study by Video Analysis**

*Daniel Rodrigues Ventura*, COLUNI, Federal University of Viçosa, MG, Brazil; IFIMUP-IN, University of Porto, Portugal

*Paulo Simeão de Carvalho*, DFA, UEC, FCUP, University of Porto, Portugal; IFIMUP-IN, University of Porto, Portugal

*Marco Adriano Dias*, IFRJ - Rio de Janeiro, Brazil; Oswaldo Cruz Institute/Program EBS - Rio de Janeiro, Brazil

The word “wave” is part of the daily language of every student. However, the physical understanding of the concept demands a high level of abstract thought. In physics, waves are oscillating variations of a physical quantity that involve the transfer of energy from one point to another, without displacement of matter. A wave can be formed by an elastic deformation, a variation of pressure, changes in the intensity of electric or magnetic fields, a propagation of a temperature variation, or other disturbances. Moreover, a wave can be categorized as pulsed or periodic.<sup>1</sup> Most importantly, conditions can be set such that waves interfere with one another, resulting in standing waves. These have many applications in technology, although they are not always readily identified and/or understood by all students. In this work, we use a simple setup including a low-cost constant spring, such as a Slinky, and the free software Tracker

for video analysis. We show they can be very useful for the teaching of mechanical wave propagation and the analysis of harmonics in standing waves.

In teaching practice, we need to develop strategies and use tools to help students in the learning process. According to Moreira,<sup>2</sup> when new information has little to no interaction with previous concepts, very little to nothing is introduced in the cognitive structure and significant learning does not occur.

Thus, the use of technology and resources in experimentation goes beyond a simple contextualization. It can create operational situations as a basis for understanding abstract concepts.<sup>2-4</sup> Video modeling is used to facilitate the understanding of physics,<sup>5</sup> primarily in the study of kinematics,<sup>6,7</sup> and in other areas such as sound waves<sup>8</sup> and optics.<sup>9</sup>

## **Experimental**

An elastic spring is a medium where vibrations can easily be produced. Under identical end conditions, e.g., both ends tied down, the spring can vibrate with standing waves with a variety of wavelengths, known as harmonics.

To study the mechanical waves, a black painted metal spring was fixed to a support. The spring was illuminated by white light projectors to enable a good contrast of the spring against a white background, as suggested by Sirisathitkull et al.<sup>6</sup> To capture the video images, we used a digital photo camera Canon EOS 5D Mark III with HD 12803720 MP resolution at 60 frames per second and a CMOS Full Frame 363 24 mm<sup>2</sup> sensor. A smartphone or tablet camera can also be used, but images are frequently blurred for the higher order harmonics due to their small CMOS sensor dimensions. In order to quantitatively characterize the waves, a calibrated reference bar was included in the videos.

## **Standing waves in an elastic spring**

To excite the harmonics in the elastic spring, one end of the spring is tied down while the other is propelled manually, producing periodic pulses perpendicular to the elastic spring alignment. Although the experiment does not recreate exactly the desired boundary condition that requires both ends to be fixed for generating standing waves, the superposition of the pulses that travel along the spring in opposite directions yields standing waves only at specific frequencies. The constructive interferences generated antinodes, whereas the destructive interference generated nodes. Students have fun when generating the standing waves with their own hands, and they easily identify the waves' stationary behavior because visually there is no change in the position of nodes and antinodes with time.

A video with sequences of stationary waves was recorded at 60 frames per second and is available online.<sup>10</sup> Figure 1 is a snapshot of the experiment when the third harmonic was being formed.

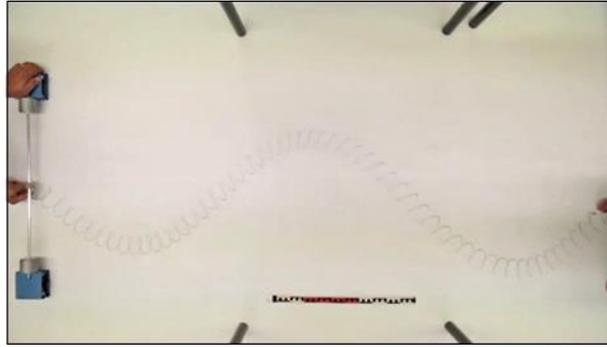


Fig. 1. Image of the spring vibration when the third harmonic was being formed. The left side of the spring is fixed while the right side is propelled manually. The calibration bar is visible at the bottom of the image.

By observing the sequence frame-by-frame with the Tracker<sup>11</sup> software, students realize that the distance between two consecutive nodes corresponds to one-half of the wavelength of the stationary wave. This conclusion is not evident when students only observe schemes in textbooks of standing waves, similar to those in Fig. 2. With video analysis, students can actually measure the approximate wavelength of each standing wave with the “tape measure” tool from the software. The images in Fig. 2 are strobe pictures of the harmonics recorded. They can be built with the “ghost” filter from Tracker. Teachers can use the images in Fig. 2 to discuss conceptually with the students how standing waves are formed and why they look like they do. Moreover, we show in the following how video analysis enables students to determine the period and the speed of the propagation of waves in the spring.

### Quantitative analysis of the harmonics

The vibration modes typical for an elastic string depend on its tension and length. Equation (1) represents the frequency of the harmonics when both ends are tied down:

$$f_n = \frac{nV}{2L}, \quad (1)$$

where  $n$  is the harmonic order,  $V$  is the propagation speed of the wave in the elastic medium, and  $L$  is the total length of the string,<sup>1</sup> assuming that its tension is the same during the whole experiment.

For simplicity, it may be assumed that, on average, the tension of the spring between the two ends is nearly constant, and thus the frequencies of the harmonics generated in the spring can be approximately described by Eq. (1).

With the software package, students can obtain the wavelength ( $\lambda$ ) measuring the distances between nodes (in most cases, an extrapolation from the shape of the images in Fig. 1 is needed to determine the position where the right end node would be if the wave is extended), and the period ( $T$ ) for each harmonic (the period is measured for a complete oscillation of the harmonic wave). They can relate them by the wellknown expression from kinematics:

$$\lambda_n = V T_n = \frac{V}{f_n}. \quad (2)$$

The plot of the wavelength as a function of the wave period enables the determination of the propagation speed of the wave in the spring. This is an important step for students' understanding of wave propagation in standing waves, because these are usually presented to the students as "stationary" waves. The experimental values of  $V$  obtained from the experiment can vary from group to group, according to the tension and/or the type of spring used in the experiment; we thus strongly suggest to teachers that they provide different springs (with different linear density) in order to explore this situation.

Figure 3 presents an example of a plot of  $\lambda$  against  $T$  for the first six harmonics of Fig. 2. The values of  $\lambda$  are affected by an estimated error of 10%, due to the extrapolation that is needed for the position of end node at the right side of the spring. A linear relationship can be observed, and it is expected that students conclude that such a linear behavior confirms the physical model assumed, and the results predicted by Eq. (2).

Teachers can also suggest that their students compare the speed obtained from the slope in Fig. 3 with the direct measurement of the speed of a traveling wave pulse, which would also be easy to obtain using Tracker. The collected data are listed in Table I.

The speed of the propagation of the waves in the spring is calculated by a linear fit to the experimental data, either with Tracker or another software with statistics tools (for example, MS Excel). The obtained value in our example is  $v = 4.95 \pm 0.02$  m/s. As discussed above, this value depends greatly on the elastic characteristics and/or the tension of the spring. If these parameters are intentionally varied, it can lead to additional interesting experimentation and improve students' understanding.

Table I. Experimental values of the period and the wavelength measured for each harmonic.

Harmonic $n$	Period $T$ (s) ( $\pm 0.02$ s)	Wavelength $\lambda$ (m) ( $\pm 10\%$ )
1st	1.12	5.5
2nd	0.52	2.6
3rd	0.35	1.7
4th	0.27	1.3
5th	0.21	1.0
6th	0.18	0.89

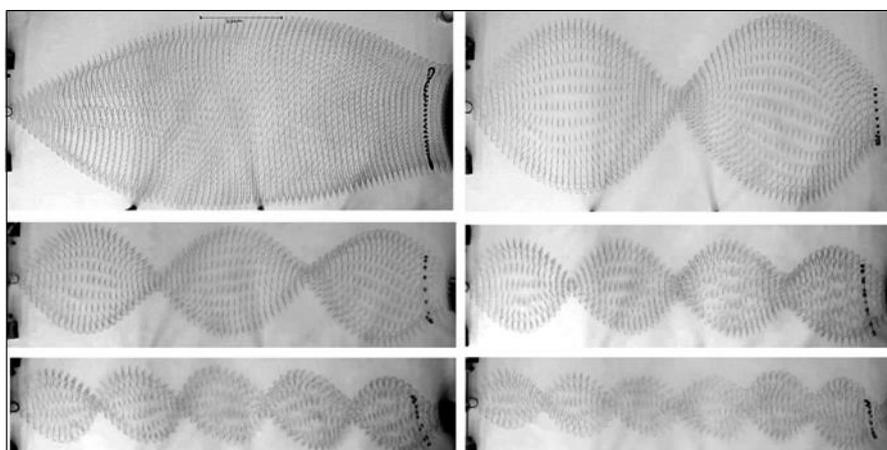


Fig. 2. Stroboscope images of the spring vibration, from the first (top left-hand) to the sixth (bottom right-hand) harmonic. The wavelength is measured by using the calibration bar within the videos, which is not visible in all of the zoomed-in images shown.

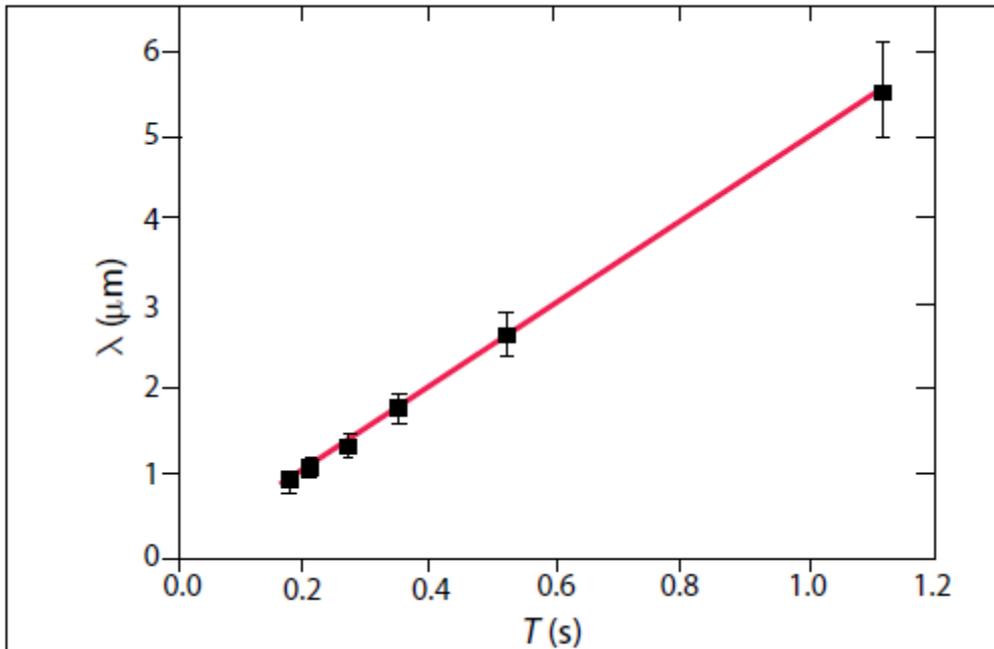


Fig. 3. The wavelength as a function of the period for the first six harmonics of Fig. 2. The slope of the linear fit gives the speed of the propagation of waves in the spring. The error bars correspond to an estimated error of about 10% in the measurement of  $l$ .

## Conclusions

What is important to highlight in this work is the possibility to generate transverse standing mechanical waves propelled manually, using easily accessible and low-cost material like elastic springs. Moreover, Tracker is a freeware software that allows the collection of experimental data by video analysis and data modeling with the built-in “Data Tools” module; no additional sophisticated digital and technological resources are needed to record the standing waves, although good quality digital recording for quantitative measures may require a \$200 to \$300 camera.

The experiment is easy to execute in any classroom and, as much as possible, it should be implemented as an inquiry-based activity rather than a cookbook-style activity. By doing this, teachers provide a hands-on approach to take advantage of students' engagement in the activity, and involve them in the discussion of the results. We suggest this approach should be at first qualitative, and then followed by a quantitative interpretation of the phenomenon.

Producing stationary waves makes possible a quick identification of the constructive (antinodes) and destructive (nodes) interference points. The strobe images of the oscillation of the spring allow the observation of the motion of the medium in the antinode regions, which are frequently not perceived by the students when they see a typical image of a stationary wave in textbooks.

A video analysis and a computer simulation are sometimes assumed as virtual-based experiments, because both share digital tools and show comparable characteristics (can be run at any time and as many times as needed, allow data acquisition with virtual tools, can

be explored inside or outside the classroom individually or in groups). Nevertheless, they have different impacts on students' engagement: students tend to "believe" more in videos because they are real experiments recorded digitally, whereas simulations are animations based on a computational algorithm. Moreover, they know the origin of experimental results is quite different. Students can even make their own videos as hands-on activities, and thus they realize that with a video the results are obtained from real experimental conditions and are not generated by a mathematical algorithm.

The video of this experience, available on online,<sup>10</sup> may also be explored as an activity of curricular enrichment outside the classroom, and then later be discussed and complemented at the school's laboratory. In addition, for those teachers without resources or access to laboratory infrastructures, this video enables them to explore the topic of stationary waves in an affordable way.

## Acknowledgments

The authors are indebted to Maciej Wojtaś for the fruitful discussions and reading of this paper. This work was funded by CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa), PDE, 206324/2014-

6, by Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Project UID/NAN/50024/2013, by CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior) (BEX 3275/15-9) and by the Federal Institute of Education, Science and Technology (IFRJ) for incentive to research.

## References

1. H. M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, Vol. II (Blucher, São Paulo, 2002).
2. M. A. Moreira, *Teoria da aprendizagem* (EPU, São Paulo, 1999).
3. L. P. Vieira, D. F. Amaral, and V. O. M. Lara, "Standing sound wave in tube: Analyses of problems and suggestions," *Rev. Bras. de Ens. de Fís.* 36, 1504(1)–1504(5) (Jan./March 2014).
4. H. A. Errobidart, S. T. Gobara, S. L. Piubelli, and N. C. G. Errobidart, "Mechanical ear: A test studying the propagation and transmission of a sound wave," *Rev. Bras. de Ens. de Fís.* 36, 1507(1)–1507(6) (Jan./March 2014).
5. D. Brown, "Video Modeling: Combining Dynamic Model Simulations with Traditional Video Analysis," presented at AAPT Summer Meeting, Edmonton (2008). Available at [http://physlets.org/tracker/download/video\\_modeling.pdf](http://physlets.org/tracker/download/video_modeling.pdf), accessed on Oct. 21, 2015.
6. C. Sirisathitkul, P. Glawtanong, T. Eadkong, and Y. Sirisathitkul, "Digital video analysis of falling objects in air and liquid using Tracker," *Rev. Bras. de Ens. de Fís.* 35, 1504(1)–1504(6) (Jan./March 2013).
7. M. Rodrigues and P. Simeão Carvalho, "Teaching physics with Angry Birds: Exploring the kinematics and dynamics of the game," *Phys. Educ.* 48, 431–437 (April 2013).
8. P. S. Carvalho, E. Biosa, M. Rodrigues, C. Pereira, and M. Ataíde, "How to use a candle to study sound waves," *Phys. Teach.* 51, 398 (Oct. 2013).
9. M. Rodrigues and P. S. Carvalho, "Teaching optical phenomena with Tracker," *Phys. Educ.* 49, 671–677 (June 2014).
10. The video "Stationary waves in elastic spring" is available at <https://www.youtube.com/watch?v=oRJDNvz1R5s&feature=youtu.be>, accessed on Oct. 7, 2015.
11. D. Brown, Tracker, Open Source Physics Project, available at <http://physlets.org/tracker/>, accessed on April 27, 2016.

### 4.3. ARTIGO 3 - O LANÇAMENTO OBLÍQUO DE UM MARTELO EM ROTAÇÃO

---

O estudo do movimento de corpos extensos é de interesse prático e está presente na maioria dos currículos de física tanto na educação básica quanto no ensino superior. Para esse estudo, um conceito de fundamental importância é o conceito de centro de massa e, com a videoanálise pode-se estudar experimentalmente o movimento dos corpos extensos e o comportamento de seus centros de massa.

A proposta que apresentamos iniciaria com a exibição do vídeo com o movimento do martelo (ou a execução na sala de aula) para, em seguida, exibir a imagem estroboscópica pode propor uma investigação pela busca de regularidades no movimento.

Esse artigo foi publicado no volume 51 do periódico britânico *Physics Education*, em 2016.

---

### How to determine the centre of mass of bodies from image modelling

**Marco Adriano Dias<sup>1,2</sup>, Paulo Simeão Carvalho<sup>3,4</sup> and Marcelo Rodrigues<sup>4,5</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), Rua Lúcio Tavares, 1045. CEP 26530-060, Nilópolis, Rio de Janeiro, Brazil

<sup>2</sup> Instituto Oswaldo Cruz/Programa de Ensino de Biociências e Saúde (EBS/FIOCRUZ), Avenida Brasil, 4365, Pavilhão Arthur Neiva–Manguinhos, CEP: 21040-360, Rio de Janeiro, Brazil

<sup>3</sup> Departamento de Física e Astronomia, UEC, IFIMUP-IN, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (UP), Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007 Porto, Portugal

<sup>4</sup> IFIMUP-IN, Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007 Porto, Portugal

<sup>5</sup> Middle school of Viso, Rua Artur Brás, s/n, 4250-528 Porto, Portugal



CrossMark

E-mail: [marco.dias@ifrj.edu.br](mailto:marco.dias@ifrj.edu.br), [psimeao@fc.up.pt](mailto:psimeao@fc.up.pt) and [marcelojrodrigues@sapo.pt](mailto:marcelojrodrigues@sapo.pt)

#### Abstract

Image modelling is a recent technique in physics education that includes digital tools for image treatment and analysis, such as digital stroboscopic photography (DSP) and video analysis software. It is commonly used to analyse the motion of objects. In this work we show how to determine the position of the centre of mass (CM) of objects

with either isotropic or anisotropic mass density, by video analyses as a video based experimental activity (VBEA). Strobe imaging is also presented in an educational view, helping students to visualize the complex motion of a rigid body with heterogeneous structure. As an example, we present a hammer tossed with translation and rotation. The technique shown here is valid for almost any kind of objects and it is very useful to work with the concept of CM.

## Introduction

The study of the motion of large bodies is of great practical interest. It is included in all physics curricular programs, especially in high school where the concept of centre of mass (CM) is an important topic, because it helps to simplify the complex motion of rigid bodies. In schools, teachers usually explain this abstract concept only theoretically, or use statics experiments about the definition of centre of gravity (CG) concept. A common experimental technique consists in drawing two vertical gravity lines throughout the body, and the CG will be at the intersection of these lines.

In this work we propose a new technique to determine the CM of almost any object (either with isotropic or anisotropic mass density) which also acts as an interactive approach for students to learn this concept. We use as an example the motion of a hammer, launched obliquely and with rotation.

The motion of the body is analysed by image modelling, namely by digital stroboscopic photography (DSP) [1, 2] and by video analysis with *Tracker* software [3]. We observe experimentally the trajectory of several points marked along the body of the hammer and identify the position of the CM from the experimental results.

## The motion of bodies and the CM

By tossing obliquely a small, rigid and isotropic mass density sphere in the air with negligible air resistance, we notice that it describes a parabolic trajectory, and because of its symmetry we can ignore its rotation. But if we toss an anisotropic mass density body like a hammer with an heterogeneous structure, at first sight its trajectory cannot be described in a simple way. The hammer's motion is tottering and all points of the object describe distinct trajectories. These points don't follow a parabolic trajectory because when the hammer rotates, each one moves around a particular point of the body, called the CM.

The CM represents the average position (of the discrete mass distribution) that makes up the body. This point has some particular characteristics: it is the single point of the body, after tossed obliquely, whose trajectory is always a parabola, and whose vertical position as a function of time is described by a quadratic function; when the body rotates the CM is always within the rotation axis.

The position of the CM ( $r_{CM}$ ) of a body is calculated from equation (1), which takes into account the distribution of the mass in the body.

$$\vec{r}_{CM} = \frac{1}{M} \int \vec{r} \cdot dm \quad (1)$$

For bodies with symmetric shape and isotropic mass density, the CM coincides with the geometric centre of the body. However, for bodies with anisotropic mass density and/or with irregular geometric shapes, the analytical determination of the position of CM can be very complex. In the particular case of the hammer, the CM is closer to the more massive end.

The kinematic model of the CM states that in the absence of air resistance and when a body is only exposed to gravity, the equation for the trajectory of the CM is given by the parabolic equation [4]:

$$\Delta y = \Delta x \tan \theta - \frac{g(\Delta x)^2}{2.(v_0 \cos \theta_0)^2} \quad (2)$$

where  $\Delta y$  and  $\Delta x$  are respectively the coordinate positions changes in the trajectory along the vertical ( $y$ ) and the horizontal ( $x$ ),  $\theta_0$  is the tilt angle of launch,  $v_0$  is the initial speed and  $g$  is the local gravitational acceleration. According to this model, the vertical component of the CM is described, as a function of time, by the wellknown quadratic equation:

$$y = y_0 + v_0 \cdot t \cdot \sin \theta - \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (3)$$

where  $y_0$  represents the starting position of the CM in the vertical direction, and the horizontal component of the CM is described, as a function of time, by the well-known linear equation:

$$x = x_0 + v_0 t \cos \theta_0 \quad (4)$$

where the  $x_0$  represents the starting position of the CM in the horizontal direction.

### CM versus CG

Usually the CM of rigid bodies is identified by making use of another physical concept: the centre of gravity of the body (CG). The CG is the point through which we can consider the gravitational force to act. This force is the sum of the gravitational forces acting on the discrete elements of the body. If we consider the acceleration of gravity ( $g$ ) constant, i.e. the same  $g$  acting on every single particle within the body, then the CG is coincident with the respective CM. So, it is very common to determine the position of the CM of extended bodies by means of static techniques used to determine the CG.

There are many static techniques to determine the CG of a body, e.g. by the interception of two vertical lines corresponding to two static equilibrium body positions. Figure 1 shows a common way for finding the CG of a broom.

In this example the CG is within the body, but there are other cases where the CG is outside the body such as in a boomerang or in a very popular equilibrium setup composed of two forks (figure 2).

In this work we will consider that CM and CG are coincident since  $g$  is assumed nearly constant.

In the absence of gravity, we can still determine CM by finding the interception of two different free rotating axis in the body. This is a dynamic technique based on the fact that all bodies will freely rotate around an axis that contains the body's CM. This technique can be implemented in space, by applying a torque to the body without conferring a translational movement, but here on Earth we have to deal with the gravity force that compels the objects to fall.



**Figure 1.** Estimated longitudinal position of the CG of a broom, obtained from an unstable static equilibrium technique used to find the CG. The CG is along the vertical line that crosses the wooden stick (the equilibrium is unstable because the CG is above the fulcrum).

The technique here presented combines the CG concept with the dynamic rotation technique. As we show in the following, the technique will be useful for the identification of the CM position in a particular rotating plane of the body, confirming that the dynamic study of a seemingly complex motion can be described with great simplicity from the concept of CM.

### **Description of the technique**

For the determination of the CM of a hammer, we tossed it obliquely with rotation and filmed its motion with a Canon EOS 5D Mark III photo camera, at a rate of 60 frames per second. In order to better describe the trajectories of the whole body, we marked several coloured dots along the hammer's body and listed them from A to G (figure 3).

Figure 4 is a strobe image of the motion built with *VirtualDub* and *ImageJ* software [5, 6], where we can immediately identify that the different parts of the hammer describe distinct trajectories. Despite the different trajectories of each colour mark in the hammer, globally the image shows a parabolic-like symmetry.

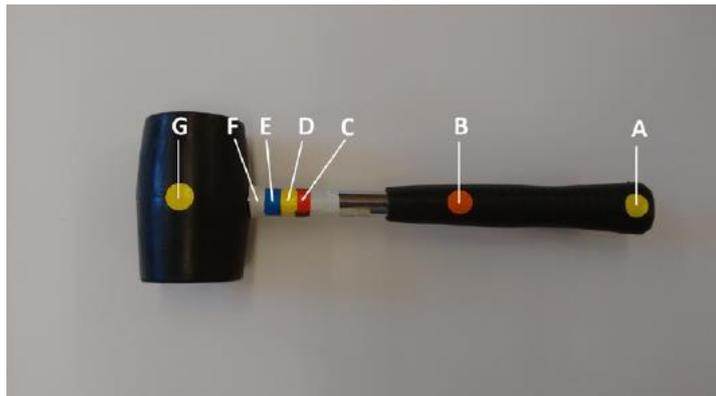


**Figure 2.** Estimated vertical position of the CG of the system consisting of two forks. The CG is outside the system in the intersection between the vertical gravity line that crosses the wooden stick and the forks plane, somewhere below the fulcrum.

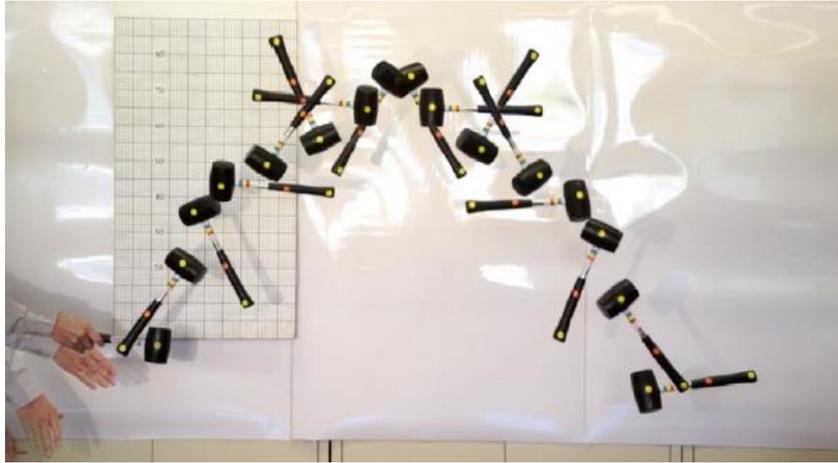
## Results

The video was analysed with *Tracker* software and the trajectories of those points were disclosed. The results of the video analysis are presented in figures 5(a)–(g). Undoubtedly, the trajectories of each marked point on the hammer are quite different. The more nearer to the CM are the marked points the more closer to a parabola are the trajectories. The marked point whose trajectory is more closely to a parabola is point E, as we can find in figure 5(e).

Observing the different graphs we can see several points describing parabolic-like trajectories. However, the trajectory of point E is the one that best matches a parabola as described by equation (2), and it is also the only point in the body whose vertical and horizontal coordinates are more approximately described by equations (3) and (4).



**Figure 3.** Points distributed over the hammer in order to study their trajectories.

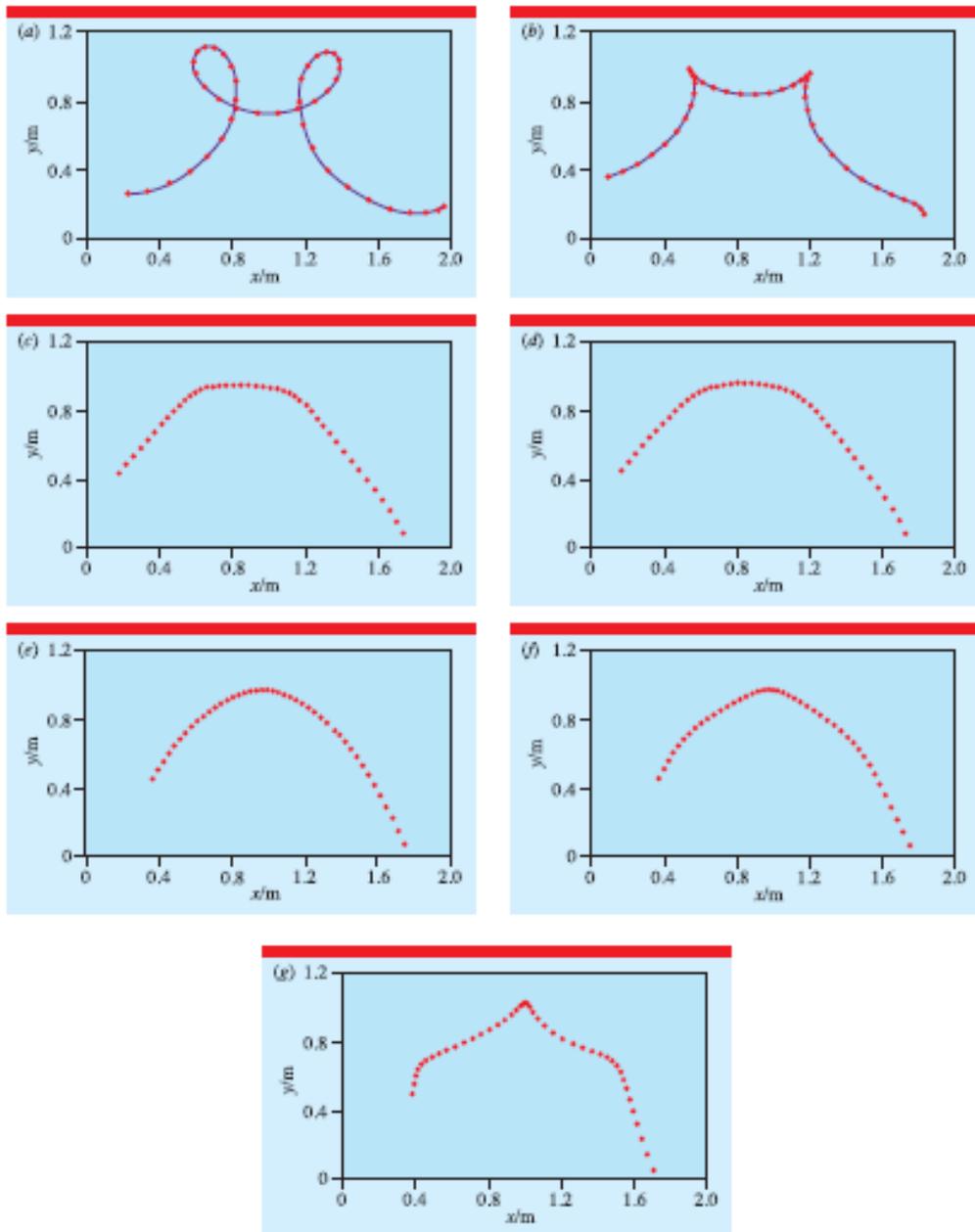


**Figure 4.** Strobe image of the oblique movement of a hammer with rotation, made at a capture rate of 20 frames per second. A parabolic-like symmetry can be identified in the image.

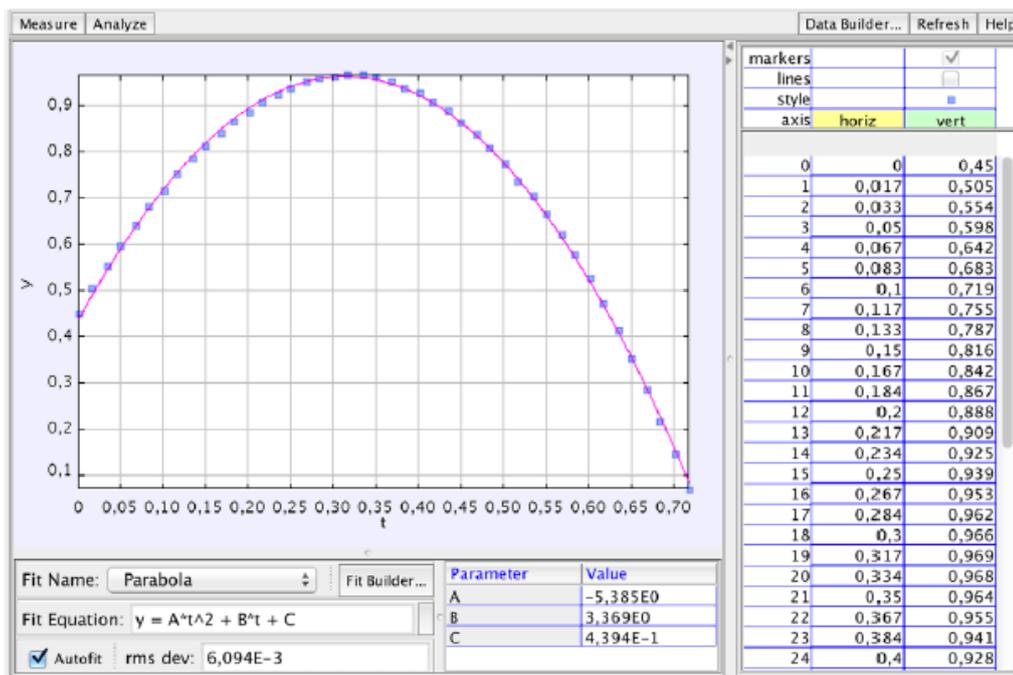
Figure 6 presents a fit of a quadratic expression. (3) to  $y$  for point E as a function of time, found by the *DataTool* module of *Tracker*.

We can do an analysis of the quality of the fit by determining the value of the gravitational acceleration  $g$  from the quadratic term of the fit equation. From the value of parameter A in figure 6 and from equation (3), then the value obtained is  $g = -10.77 \text{ m s}^{-2}$ . Comparing this with the standard gravitational acceleration on Earth at sea level,  $g_0 = -9.81 \text{ m s}^{-2}$ , it turns out that the experimental error is approximately 10%; for a complex motion like this and within the approaches assumed by the technique in identifying the most approximated position of CM in the body, this is a fairly acceptable value. One can therefore conclude that the fit is good and strongly suggests point E is located near the CM of the hammer.

In a more general situation, the analysis of all marked points of a body should include both fittings to equation (3) in order to find the best  $g$  value, and to equation (4) to find the best linear relation, especially when there are a lot of marked points (near the CM) with a good parabolic-like trajectory. The combination of these two information increases the accuracy in the determination of the best point corresponding to the CM.



**Figure 5.** (a) Trajectory described by point A, at one end of the hammer. (b) Trajectory described by point B. (c) Trajectory described by point C. (d) Trajectory described by point D. (e) Trajectory described by point E. The trajectory shown is close to a parabola. (f) Trajectory described by point F. (g) Trajectory described by point G, at the other end of the hammer.



**Figure 6.** Parabolic fit to  $y$  positions of point E as a function of time, found by the *DataTool* module of *Tracker*.

## Conclusions

The educational approach using Image Modelling turns easy the identification of the position of the CM of bodies, because the CM is the only point of a body that always describes a parabolic trajectory when it also has rotational movement. However, this technique is only adequate when the CM is located inside the body and points can be signed and tracked.

With image modelling, teachers can create interactive and engaging strategies with their students to determine the position of the CM of bodies. Videos can be recorded not only by teachers, but also by students to increase their engagement and interactivity within the learning process. The technique can be applied to almost any undeformable body, and used to explore the kinematic characteristics of the CM.

Teachers can also develop inquiry activities while teaching mechanics, using everyday contexts and let students interpret counter-intuitive problems. The approach here described allows the study of real and apparently complex motions of bodies, either in the classroom as a practical work, or outside the classroom as educational enrichment tasks.

## Acknowledgments

Marco Adriano Dias is indebted to CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior), organ of the Brazilian Ministry of Education, for a research fellowship (Process BEX 3275/15–9). This work is partially financed by the FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia (Portuguese Foundation for Science and Technology) within project UID/NAN/50024/2013.

## References

- [1] Dias M A, Barros S S and Amorim H S 2009 Produção de fotografias estroboscópicas sem lâmpada estroboscópica *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **26** 492–513
- [2] Dias M A 2011 Utilização de fotografias estroboscópicas digitais para o estudo da queda dos corpos *MSc Thesis* UFRJ, Rio de Janeiro ([www.if.ufrj.br/~pef/producao\\_academica/dissertacoes/2011\\_Marco\\_Adriano\\_Dias/dissertacao\\_Marco\\_Adriano\\_Dias.pdf](http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2011_Marco_Adriano_Dias/dissertacao_Marco_Adriano_Dias.pdf)) (accessed 15 May 2015)
- [3] Brown D and Cox A J 2009 Innovative uses of video analysis *Phys. Teach.* **47** 145–50
- [4] Young H D and Freedman R A 1996 *University Physics* 9th edn (New York: Addison-Wesley) pp 69–70
- [5] VirtualDub [www.virtualdub.org/](http://www.virtualdub.org/) (accessed 11 December 2015)
- [6] ImageJ <http://imagej.nih.gov/ij/> (accessed 11 December 2015)



**Marco Adriano Dias** is a professor at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio de Janeiro (IFRJ) and a PhD student at the Bioscience and Health School of the Oswaldo Cruz Institute. His research interests are interactive educational material, image modeling, physics education and teacher training (initial and continuous).



**Paulo Simeão Carvalho** is an assistant professor at the Department of Physics and Astronomy, Faculty of Sciences, University of Porto since 1998. He is also researcher at IFIMUP and member of UEC (Unit for Teaching of Sciences). His research interests are multimedia curricular materials, physics education and teacher training (initial and continuous).



**Marcelo José Rodrigues** is a middle and high school teacher and researcher at IFMUP. His research interests are interactive educational materials, physics education and teaching training.

#### **4.4. ARTIGO 4 – AS LEIS DE NEWTON NO CONTEXTO DA MANOBRA OLLIE NA MODALIDADE SKATEBOARDING**

---

Uma inovação para o ensino de Ciências advinda do vídeo digital e dos recursos da imagem estroboscópica e da videoanálise é a possibilidade de que movimentos do cotidiano possam ser contextos de aprendizagem em sala de aula. Essa possibilidade amplia os horizontes didáticos para o professor, uma vez que a quantidade de atividades que os alunos executam fora da sala de aula é grande. Em outras palavras, a escola abre suas portas, permitindo que os alunos escolham o contexto em que querem aprender Ciências.

Movimentos do cotidiano, em geral, são mais complexos do que aqueles propostos nos currículos escolares, os movimentos uniformes. Porém, eles são resultado de uma composição dos movimentos uniformes e possíveis de serem investigados pela videoanálise. Nesse sentido, o artigo apresenta o exemplo de uma modalidade praticada por muitos jovens em idade escolar, o *skateboarding*, especificamente o vídeo de uma manobra na qual o conjunto formado pelo skate e pelo skatista se desprende do chão, manobra chamada *ollie*.

A metodologia de ensino proposta no artigo é semelhante ao exemplo do martelo, uma vez que o professor descreve o movimento utilizando vídeo e em seguida apresenta a imagem estroboscópica e a proposição do problema, que pode ser, por exemplo, uma investigação sobre como o atleta consegue saltar e manter o *skate* junto às solas dos pés durante o salto. Nesse trabalho mostramos como as leis de Newton podem ser o referencial para a formulação da descrição fenomenológica do movimento.

Esse artigo foi publicado no volume 51 do periódico britânico *Physics Education* em 2016. Vale ressaltar que a publicação desse artigo foi de grande impacto, sendo citado na edição de junho/2016 da revista britânica *Newsletter Education*<sup>17</sup>, e também na revista *Physics World*, importante periódico britânico voltado para um público mais abrangente em Física<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> <http://iop.msgfocus.com/q/1404ReQnIxL8ELq0WFBuv/vv> , acessado em 04-10-2017

<sup>18</sup> <http://blog.physicsworld.com/2016/05/25/skateboard-videos-reveal-the-physics-of-doing-an-ollie/> , acessado em 04-10-2017

---

## Using image modelling to teach Newton's Laws with the Ollie trick

Marco Adriano Dias<sup>1,2</sup>, Paulo Simeão Carvalho<sup>3,4</sup> and Deise Miranda Vianna<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), Rio de Janeiro, Brasil

<sup>2</sup> Instituto Oswaldo Cruz/Programa de Ensino de Biociências e Saúde (EBS/FIOCRUZ), Rio de Janeiro, Brasil

<sup>3</sup> Departamento de Física e Astronomia, UEC, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (UP), Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007 Porto, Portugal

<sup>4</sup> IFIMUP-IN, Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007 Porto, Portugal

<sup>5</sup> Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil



CrossMark

E-mail: [marco.dias@ifrj.edu.br](mailto:marco.dias@ifrj.edu.br), [psimeao@fc.up.pt](mailto:psimeao@fc.up.pt) and [deisemv@if.ufrj.br](mailto:deisemv@if.ufrj.br)

### Abstract

Image modelling is a video-based teaching tool that is a combination of strobe images and video analysis. This tool can enable a qualitative and a quantitative approach to the teaching of physics, in a much more engaging and appealing way than the traditional expositive practice. In a specific scenario shown in this paper, the Ollie trick, we show how image modelling can contribute to the contextualisation of Newton's Laws, foster an effective learning and spell out the relation between forces and the different moments of skateboarding.

### Image modelling as a teaching tool

As digital video recording devices (DVRs) grow popular, along with a wide range of free applications for video editing and analysis, a large number of possibilities for the contextualisation of science are available for use by teachers. Nowadays such technology is easily available to schools, since most students and teachers have access to smartphones, tablets and portable computers.

The existing technology enables the recording of bodies in motion, e.g. the pursuit of isolated regular motions in nature, as well as the recording of complex movements in different sports, some of them practiced by the students themselves; this allows students to draw a qualitative and/or quantitative analysis of those motions with a computer during their science classes.

Image modelling is a teaching tool that uses video as an input of preparatory curricular material. It consists of the use of strobe images [1, 2] and/or video analysis [3]. Most of the goals aimed in the teaching of physics can be achieved through image

modelling, because it enables students to engage in inquiry activities in such a way that they participate actively in the learning process, along with their fellows. Students can also choose themselves to record the videos they will study using digital technology. Thus, they develop inquisitiveness about the relationship between technology and science in the physical world [4].

Digital video recording is composed by a sequence of frames chronologically assembled, according to the image capture ratio set in the camera; thus, it is possible to digitally overlay the frames and produce a strobe image in which the time span between two consecutive positions is constant [1, 2]. This digital resource is available in some freeware applications, such as on ImageJ [5, 6], or in Tracker [7] using the Ghost feature.

The teaching structure of the approach for image modelling proposed in this paper compasses two stages: a first stage for a qualitative phenomenological description of the motion (watching the video and the corresponding strobe image) along with a case exposition (the motivating factor); and a second stage for a conceptual and quantitative inquiry using video analysis. Both stages should coexist for a consistent interpretation of the phenomena observed.

Skateboarding is a practice widely spread among students and features a vast number of concepts from mechanics. Among the countless moves done in this sport, this paper focuses on a trick called Ollie, as it is a fundamental one and the basis of most skateboarding maneuvers, englobing a wide array of concepts in physics.

For the interpretation of the phenomenon, it is fundamental to observe a strobe image since it depicts the motion as a whole. Nevertheless, the video should also be displayed simultaneously with the image. Figure 1 shows the strobe image of the Ollie trick, from A to F. The original video was recorded on a full-HD Canon EOS Mark III camera at a capture ratio of 60 frames per second. However, the superposition of images in figure 1 was made with increments of 10 frames, and therefore the effective frame rate is only 6 frames per second.

While doing the Ollie trick, the athlete performs a jump, without letting the skateboard slip away from his feet. Based on this trick, athletes overcome obstacles and perform movements that are more complex.

An activity of inquiry can be developed upon the phenomenological description of the motion. The conceptual interpretation of the several scenes in figure 1 helps to retain the students engaged with the problem.

In this paper, we show that the analysis of the Ollie trick based on this qualitative and quantitative approach can help the teaching of Newton's Laws.

### **Teaching Newton's first law (law of inertia)**

In a qualitative analysis, the strobe image addresses the principle of inertia with the students from scene A before the jump to scene F when the trick ends. The video analysis shows that just before performing the Ollie trick (scene A in figure 1), the athlete moves forward in a straight line at a constant speed; the corresponding value can be calculated with Tracker software facilities, within the Data Tool analysis module.

The graph of position  $x$  versus time in figure 2 shows a linear plot for scene A, corresponding to a speed  $V_A = 2.76 \text{ m s}^{-1}$ . Right after performing the Ollie trick (scene F), the athlete lands in a straight-line motion at a speed  $V_F = 2.15 \text{ m s}^{-1}$ .

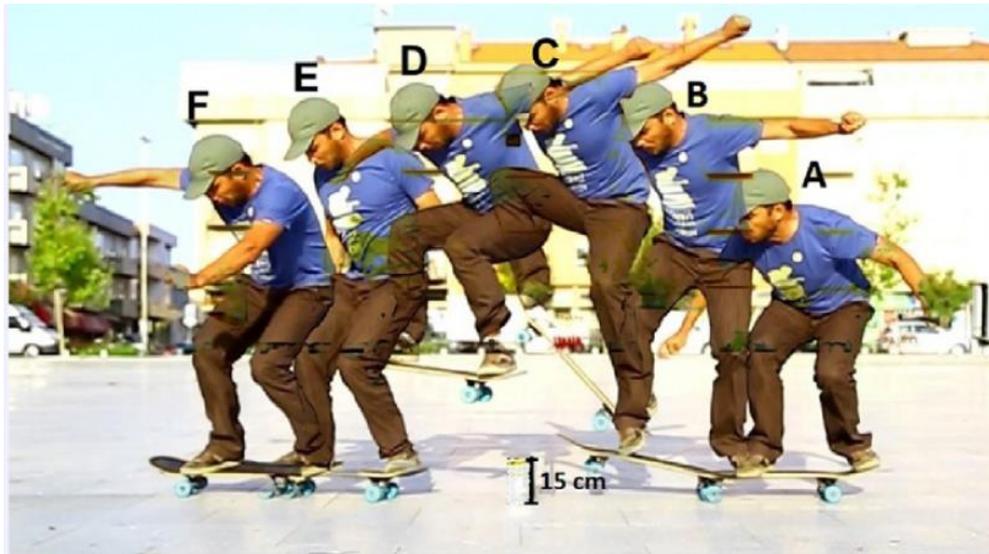
Although it is clear that the speed decreases slightly after the jump, the most important feature to highlight is that the athlete presents a horizontal speed though no external horizontal force is applied during the whole trick; this enables the discussion of the law of inertia with students. The reasons for this decrease of speed lay the groundwork for a further discussion over the principle of energy conservation throughout the whole performance of the trick, and the influence of eventual friction forces acting upon the skateboard.

### **Teaching Newton's third law (law of action-reaction) and free-body diagrams**

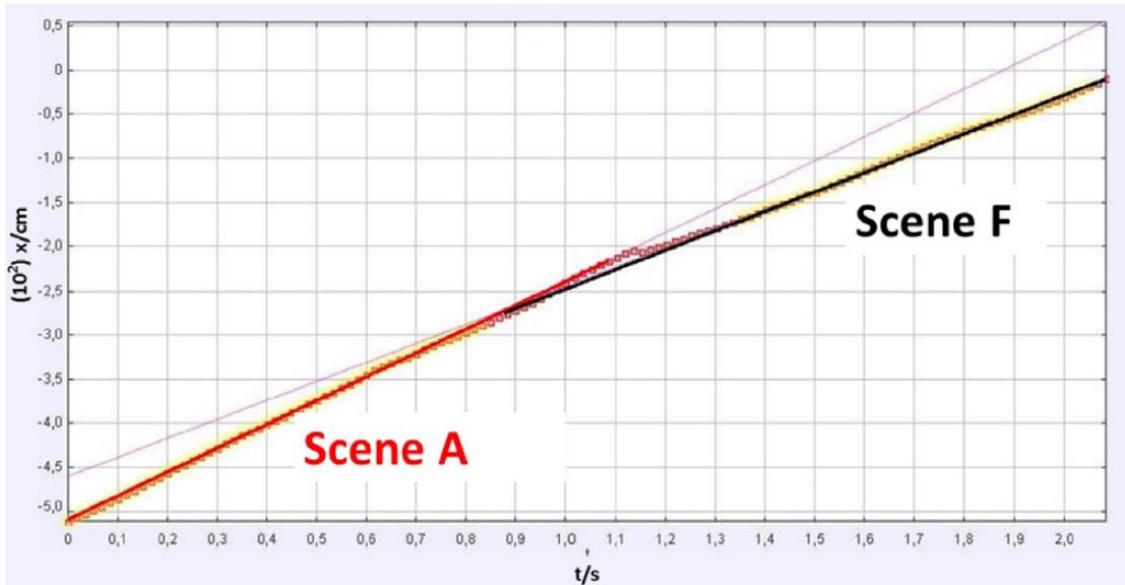
In accordance with an inquiry-based learning on a real situation, it is crucial that the students feel capable of describing the phenomena and employing properly the Image Modeling tools. Despite the complexity in the Ollie trick, it is commonly noticeable that the athlete crouches down as he gets close to the obstacle, with the knees bent as illustrated in scene A on the strobe Picture (figure 1). Immediately after, the athlete performs two simultaneous moves: an upward movement with his body and simultaneously a downward kick on the end tail of the skateboard (scene B in figure 1). Then the skateboard flies through air.

At this point, it is important students understand that the skateboard just moves up as a result of being pushed downwards. When the athlete pushes down the tail of the skateboard, both feet exert downward forces on the skateboard ( $F_1$  and  $F_2$ , as shown in figure 3(A)). At that moment, the forces acting on the board are the normal reaction force ( $N$ ), the weight of the board ( $W$ ),  $F_1$  and  $F_2$ ;  $F_N$  is the compressive force that the skateboard exerts on the ground. The net force on the board is small and is represented by  $F_R$ . When the board strikes the ground, the athlete's back foot still applies a force  $F_1$  of the board, and the board's tail transfers that force  $F_1 (=F_{N1})$  to the ground (figure 3(B)). The ground (practically) doesn't get deformed, so it prevents the skateboard from penetrating it by exerting back on the board a force of equal intensity (the reaction force  $F'_{N1}$ ). This (internal) pair of forces  $F_{N1}$  (exerted on the ground) and  $F'_{N1}$  (exerted on the board), as well as  $N$  and  $F_N$ , acting on different bodies with opposite directions, illustrate the law of action and reaction (Newton's third law). The net upwards force  $F_R$  on the skateboard that is responsible for its takingoff, is

$$F_R = N + F'_{N1} - (W + F_1 + F_2).$$



**Figure 1.** Strobe Image of the *Ollie* Trick, a fundamental movement in *skateboarding*.

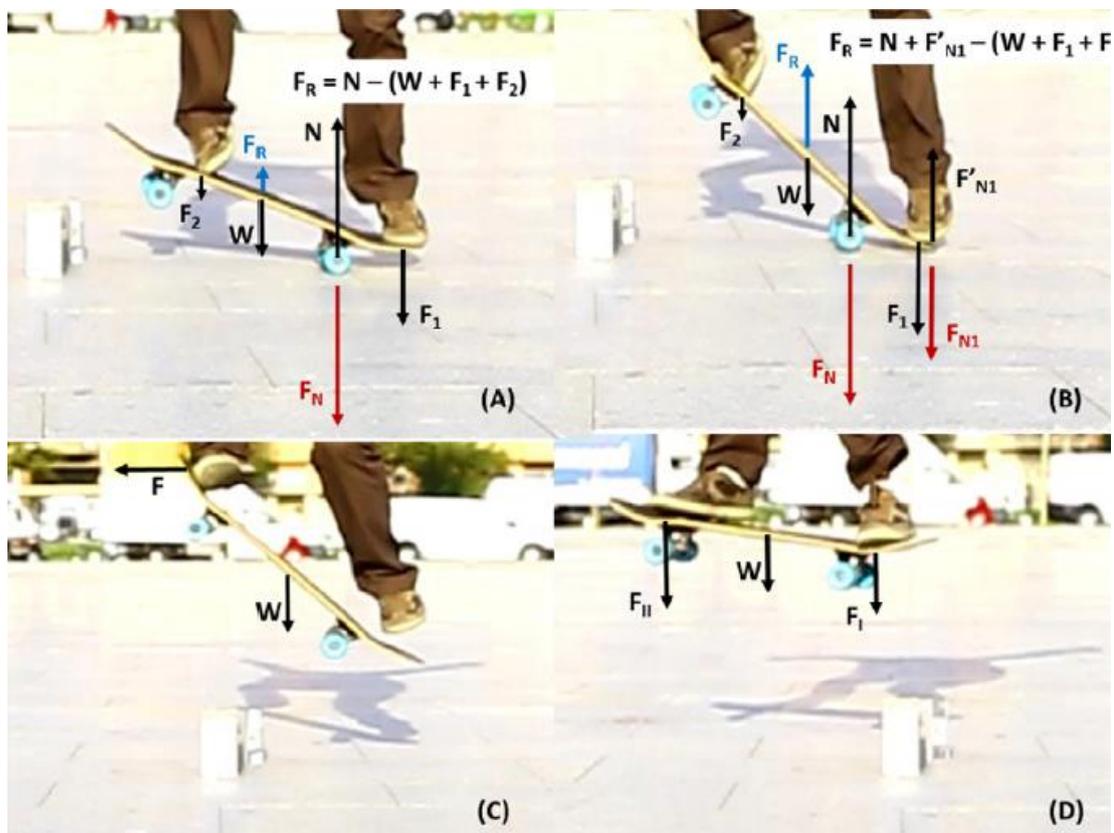


**Figure 2.** Plot of the horizontal position of the athlete throughout the entire movement. Scenes A and F represent the corresponding images in figure 1 over time, respectively before and after the athlete performs the *Ollie* trick.

To complete the *Ollie* trick, it is again necessary to analyse the free-body diagram in two particular instants of the move. The first one is when the athlete exerts a force  $F$  on the front tip of the skateboard, making it spin counterclockwise getting it back into the original horizontal position (figure 3(C)). The second instant is when the rotation is over and the athlete's front and back feet tap the skateboard with forces  $F_1$  and  $F_1$  (figure 3(D)). From this point, both athlete and skateboard start the downward

movement of landing together, as the feet exert simultaneous forces on the top of the skateboard.

Figure 4 shows the position  $y$  of three points of the skate: the tail, the back and the front wheels. The most relevant result in the whole graph is at the last part of the motion, from the moment the skate starts to descend (figure 3(D)) until it touches the ground. Within this time interval, both tail and wheels show equally spaced parabolic curves, which are typical of a translation without rotation motion with constant acceleration in the vertical direction. This feature will be discussed in the next topic.



**Figure 3.** (A) At the beginning of the jump, the athlete's feet exert forces  $F_1$  and  $F_2$  on the board. The net force on the board is  $F_R$ . In this figure,  $W$  represents the weight of the skate,  $N$  is the force exerted by the ground on the back wheel and  $F_N$  is the compressing force acting on the ground. (B) The driving force comes from the interaction between the tail and the ground. When the tail touches the ground it produces an action ( $F_{N1}$ ) — reaction ( $F'_{N1}$ ) pair of forces. The net upwards force  $F_R$  on the board results from all the forces acting on the skate. (C) The skateboard is subjected to the horizontal force  $F$  that the foot applies on the front of the skate, producing a torque that makes it turn. (D) After the transposition of the obstacle the feet apply forces  $F_I$  and  $F_1$  on the board, whose torques are balanced. The skate heads to the ground without rotation.

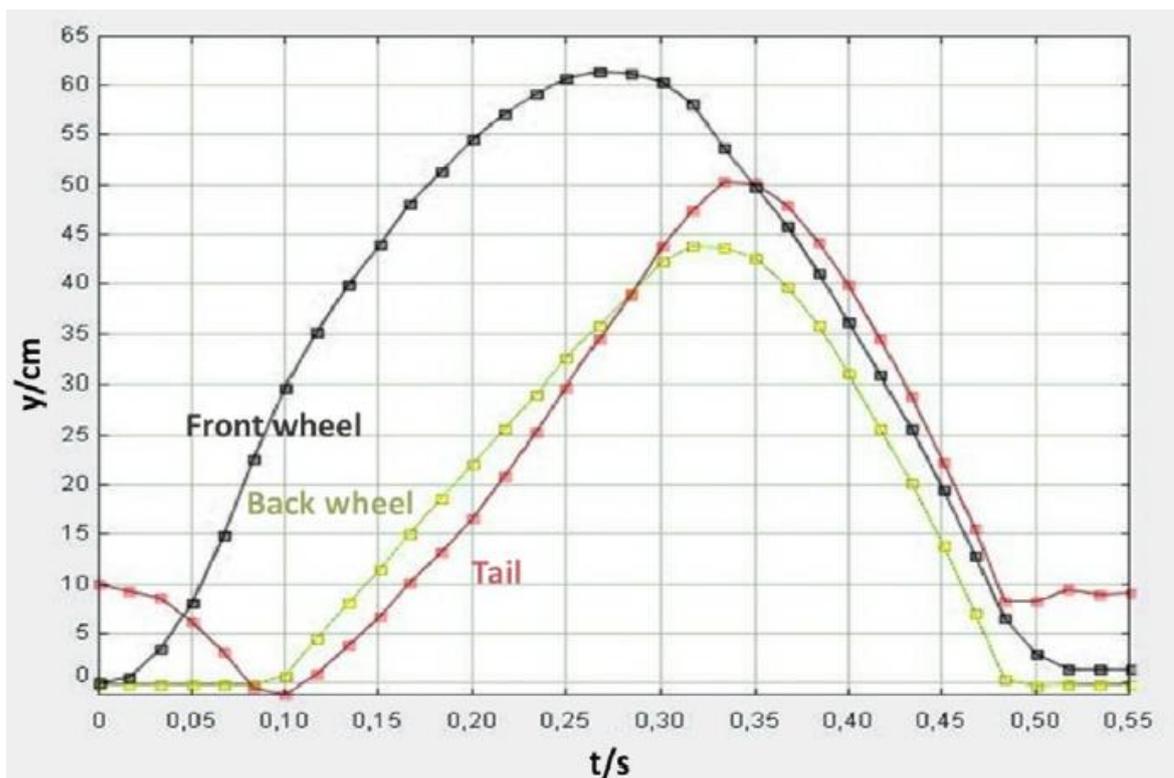
### Teaching Newton's second law

At the moment of jumping, there are forces acting on the skateboard that produce movements of translation and rotation. Between the moment that the skateboard

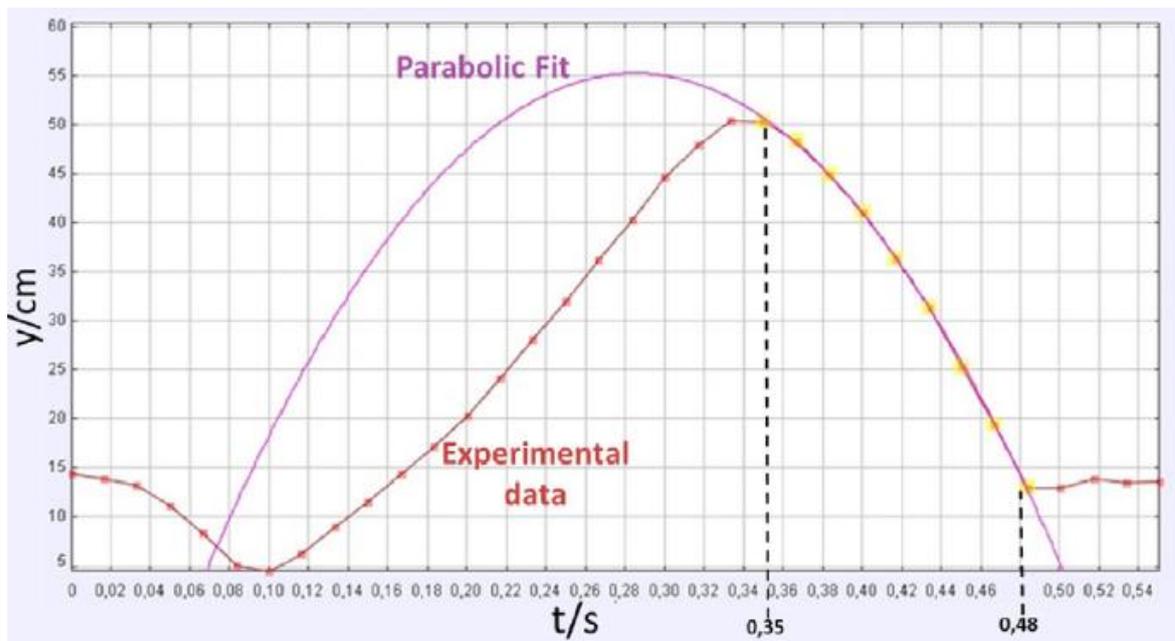
reaches the maximum height ( $t = 0.35$  s — scene D in figure 1) and the moment it touches the ground ( $t = 0.48$  s — scene E in figure 1), the skateboard is practically horizontal. During this time interval, the athletes' feet exert forces upon the skateboard (figure 3(C)) producing torques that cancel each other; consequently, no rotation of the skateboard is produced. In this time interval ( $t = 0.35$  s to  $t = 0.48$  s), any point on the skateboard has a trajectory that is well fitted by a parabolic curve  $y(t) = -12.08t^2 + 6.89t - 0.42$  (m), as shown in figure 5 for the tail trajectory. The fit indicates that the acceleration is constant within this time interval and the skateboard describes a pure translation motion.

Moreover, the acceleration of the skateboard, computed from the first term of the curve fit, is of about  $24.2 \text{ m s}^{-2}$ , considerably higher than the local acceleration of gravity, i.e. in this motion the athletes' feet exert important vertical forces on the skateboard, pushing it to the ground.

In this case, the athlete intuitively applies forces that get the skateboard to land horizontally, by pressing it directly to the ground and preventing rotation. Maybe this is the great 'secret' of a perfect performance of the Ollie trick. The results achieved by means of video analysis, show how subtle the body motions may be when it comes to the practice of sports.



**Figure 4.** Superposition of plots of  $y$ -position versus time for three points of the skateboard: the tail, the rear wheel and the front wheel.



**Figure 5.** Experimental data for position versus time of the tail of the skateboard. Between  $t = 0.35$  s and  $t = 0.48$  s, a parabolic curve of equation  $y(t) = -12.08t^2 + 6.89t - 0.42$  (m) fits data quite well, indicating a movement with a constant acceleration of about  $24.2 \text{ m s}^{-2}$ , considerably greater than the gravitational acceleration.

## Conclusions

It is unquestionable that students increase their engagement in the learning process when image modelling is employed while teaching mechanics. The systematic study of motions is currently possible using low-priced lab equipment.

Strobe images allow the visualisation of relevant details of motions that require interpretation of physical laws. They enable teachers to draw strategies that foster an interactive learning, based on an adequate inquiry-based approach. In a first stage of image modelling, the conceptual analysis of a real and eventually complex motion is pivotal for a second stage where video analysis is used for a quantitative study.

Image modelling is therefore a valuable teaching approach in the instruction of physics, at least at high secondary level, because it actively engages students in the description of phenomena, dealing with experimental results and in brainstorming. Students not only identify in practice the implication of physical laws, they also feel compelled to quantify mathematically the motion, in such a way that the teaching–learning process is much more appealing and engaging than the traditional expositive practice.

## Acknowledgments

The authors are indebted to Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ) for the incentive to research. This work was funded by Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) Project UID/NAN/50024/2013, and by CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior) (BEX 3275/15–9).

## References

- [1] Dias M A, Barros S S and Amorim H S 2009 Produção de fotografias estroboscópicas sem lâmpada estroboscópica *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **26** 492–513
- [2] Dias M A 2011 Utilização de fotografias estroboscópicas digitais para o estudo da queda dos corpos *MSc Thesis* Rio de Janeiro, UFRJ ([www.if.ufrj.br/~pef/producao\\_academica/dissertacoes/2011\\_Marco\\_Adriano\\_Dias/dissertacao\\_Marco\\_Adriano\\_Dias.pdf](http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2011_Marco_Adriano_Dias/dissertacao_Marco_Adriano_Dias.pdf)) (accessed 16 December 2015)
- [3] Brown D and Cox A J 2009 Innovative uses of video analysis *Phys. Teach.* **47** 145–50
- [4] Lemke J L 2006 Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir *Enseñanza de las ciencias* **24** 5–12
- [5] <http://imagej.nih.gov/ij/> (accessed 1 May 2016)
- [6] Dias M A, Carvalho P S and Rodrigues M 2016 How to determine the Centre of Mass of bodies from Image Modelling *Phys. Educ.* **51** 025001
- [7] <http://physlets.org/tracker/> (accessed 1 May 2016)



**Marco Adriano Dias** is a professor at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio de Janeiro (IFRJ) and a PhD student at the Bioscience and Health School of the Oswaldo Cruz Institute. His research interests are interactive educational material, image modeling, physics education and teacher training (initial and continuous).



**Deise Miranda Vianna** is an Associate Professor of the UFRJ Institute of Physics, and Professor of Bioscience and Health School of the Oswaldo Cruz Institute. Her area of research is focused on investigative teaching, with emphasis on science, technology and society, within her research group PROENFIS.



**Paulo Simeão Carvalho** is an assistant professor at the Department of Physics and Astronomy, Faculty of Sciences, University of Porto since 1998. He is also researcher at IFIMUP and member of UEC (Unit for Teaching of Sciences). His research interests are multimedia curricular materials, physics education and teacher training (initial and continuous).

## 4.5. ARTIGO 5 - O SALTO *GRAND JETÉ* DO BALLET

---

Nesse exemplo mostramos como a videoanálise permite investigar um fenômeno interessante no movimento corporal da bailarina durante a execução do *grand jete*, que é a 'flutuação', efeito característico do movimento. Assim como no exemplo anterior, trata-se de um movimento complexo executado por muitos jovens em idade escolar, que pode ser contexto de aprendizagem num ensino por investigação graças aos recursos da imagem estroboscópica e da videoanálise. A proposta de investigação sugerida pelos autores consiste em apresentar o problema aos alunos com um vídeo do movimento, em seguida a imagem estroboscópica é apresentada para que eles observem o efeito da flutuação com mais detalhes e, por fim, a videoanálise para investigar se a bailarina realmente levita.

---

### The behaviour of the Centre of Mass in a Ballerina while performing a *Grand Jeté*

**Marco Adriano Dias**<sup>1,2</sup>, **Paulo Simeão Carvalho**<sup>3,4</sup>, **Daniel Rodrigues Ventura**<sup>5</sup>,  
**Marcelo José Rodrigues**<sup>4,6</sup>, **Gabriela Gomes Fernandes**<sup>7</sup>, **Marcos Binderly Gaspar**<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal do Rio de Janeiro, Nilópolis, Rio de Janeiro, Brazil.

<sup>2</sup> Instituto Oswaldo Cruz/Programa de Ensino de Biociências e Saúde, Rio de Janeiro, Brazil.

<sup>3</sup> Departamento de Física e Astronomia, UEC, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

<sup>4</sup> IFIMUP-IN, Rua do Campo Alegre, s/n, 4169-007 Porto, Portugal.

<sup>5</sup> Colégio de Aplicação COLUNI, Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil.

<sup>6</sup> Middle school of Sande, Rua de Sande, n.º 1373, 4625-486 Marco de Canaveses, Portugal,

<sup>7</sup> Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil.

E-mail: [marco.dias@ifrj.edu.br](mailto:marco.dias@ifrj.edu.br); [psimeao@fc.up.pt](mailto:psimeao@fc.up.pt); [dventura@ufv.br](mailto:dventura@ufv.br); [marcelojrodrigues@sapo.pt](mailto:marcelojrodrigues@sapo.pt);  
[gabigfernandes29@gmail.com](mailto:gabigfernandes29@gmail.com); [mgaspar@if.ufrj.br](mailto:mgaspar@if.ufrj.br)

#### Abstract

In sports, it is very common to see athletes performing jumps, where they impose rotations to their own bodies' elements and intentionally change their moment of inertia

around the Centre of Mass (CM). When this occurs, weird effects are observed in the body's trajectories. In this work we study a jump called *Grand Jeté* of a ballerina, in which she moves her arms and legs to give the feeling that her body remains "floating" in the air for a long time. We use a computational model to calculate the position of the ballerina's CM during the jump and to explain quantitatively her motion in terms of a displacement of the CM in the ballerina's frame of reference, which enriches the study of the *Grand Jeté*.

**Key Words:** Centre of mass; Physics in sports; video analysis; Science and Art.

## 1. Introduction

The centre of mass of a body or a system of bodies is a topic that has been intensively studied by many generations of scientists, especially in mechanics, biomechanics and astronomy contexts [1-9]. Usually, the centre of mass (CM) and the centre of gravity (CG) of a body coincide, except for some cases where the difference between the two is significant [10].

When objects are tossed as projectiles, neglecting the air resistance, the CM is the only point that always describes a parabolic trajectory [7]. In sports, it is very usual athletes perform jumps where they impose rotations to their own bodies elements (e.g. diving [11] or dancing [12]), or change intentionally their moment of inertia (e.g. skating) [13], around the CM. Although their trajectories are sometimes weird, it is assumed that the CM is located somewhere in the body or closer the part of the body with the larger mass, without specifying its position [14]. In this work, we study the position of the CM when a ballerina performs a jump called *Grand Jeté*, in which she moves her arms and legs and changes her body's shape, to give the feeling that the body remains "floating" in the air for a long time.

## 2. Experimental

The *Grand Jeté* shown in figure 1 is performed by a ballerina that has a green spot bonded to her body, allowing to follow its trajectory. The stroboscopic picture of the jump (right side of figure 1) reveals a weird behaviour as the green spot exhibits a plateau-like step at the top of the trajectory.



Figure 1: The jump *Grand Jeté* performed by the ballerina reveals a plateau-like step at the top of the trajectory. This weird behaviour is disclosed in the stroboscopic image.

The jump can be better described if we consider the four steps adapted from the description of Laws [12]. As shown in figure 2, the weight of the body is thrown from one foot to the other [steps (a) through (d)]. The illusion of the body “floating” is created as the ballerina changes the body configuration during the jump [12]: the rising of the legs, ideally doing a split at the top of the jump (step (c)), and the arms projected to the front (steps (b) and (c)).

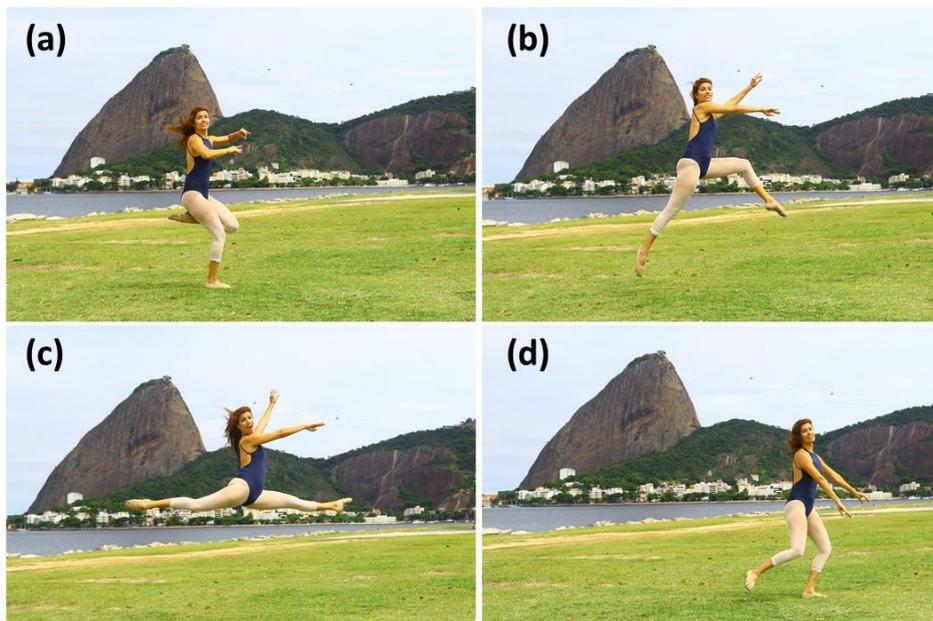


Figure 2: The four steps of the *Grand Jeté*, adapted from the description of Laws [12]: (a) Preparing for the jump with one of the legs; (b) Rising of the legs and arms; (c) Top position of the jump with a split of the legs; (d) Landing with the opposite leg

We can have a closer look of the jump by following the trajectory of several points of the body, in order to identify the position of the CM in the body’s frame of reference.

Our goal to find the centre of mass of the ballerina begins with a rough estimation of it by considering the standard distribution of mass in a human body, and so we called this point the estimated Centre of Mass (CMe). According to the literature [15-17], the elements of women's body and corresponding percentage of mass distribution are: head and neck (9,4 %), upper body (Chest, back and abdomen – 50,8 %), arms (upper arm, forearm and hands – 9,6 %), thighs (16,6 %), and legs (lower leg and feet – 13,6 %). We call CMe a rough estimation of the Centre of Mass because the mass distribution may vary from woman to woman which influences the exact position of CM, but this is not a critical factor to the illusion created in the *Grand Jeté*. Figure 3 shows the estimated position of these elements (red circles) in the ballerina's body.

Several colour circles were positioned in the ballerina's upper body, where hypothetically lies the location of the CM [12]. They will be used as reference marks for a more the interpretation of the "floating" illusion, as well as for the detailed and quantitative analysis of the position of CM.



Figure 3: Image of the ballerina during the *Grand Jeté*, with colour circles in her body. The location of the estimated mass distribution of the elements in the ballerina's body are represented by red circles. The yellow vertical bar at the centre of the image is the calibrated reference in the video.

The video of the jump *Grand Jeté* was captured by a digital photo camera Canon EOS 5D Mark III with 22.3 MP Full HD resolution at 60 frames per second. For a quantitative characterization of the motion, a calibrated reference bar was included in the video recorded (see supplementary information available at: [stacks.iop.org/PhysED/53/025009/mmedia](http://stacks.iop.org/PhysED/53/025009/mmedia)).

### 3. Results and discussion

As said above, the knowledge of the elements of women's body and corresponding distribution of masses, allows us to compute the estimated Centre of Mass (CMe) from the percentage of mass distribution of the body's elements during the jump. The vertical position of the estimated mass distribution in the ballerina's body and the corresponding computed CMe along time, are depicted in figure 4. The data were obtained by analysis of the video with Tracker software [18].

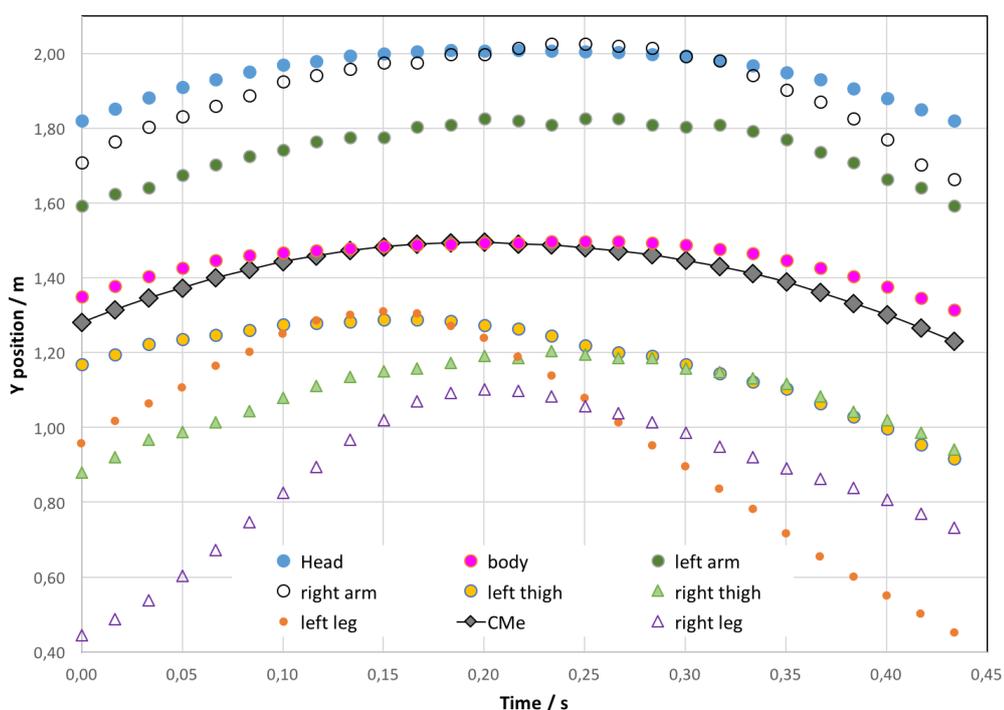


Figure 4: Plot of the Y position described by the estimated mass distribution elements in the ballerina's body. The dark-grey dot-line points represent the estimated CMe computed from these elements.

It can be easily seen that the head (blue marks) and the upper-body (rose marks) elements present a plateau-like behaviour at the middle part of the jump, giving the so-called "floating" illusion. The limbs (arms and legs) and the thighs have a significant change of their Y position during the jump, which undoubtedly contribute for the motion of CMe (dark-grey marks) along the upper body's frame of reference.

Two important conclusions are attained from figure 4:

1. The CMe moves up and down along the ballerina's upper-body frame of reference during, respectively, the ascendant and the descendent motion of the arms, legs and thighs (due to the change of the mass distribution).

2. CMe lies very close to the upper body marks, suggesting that the exact location along time of the ballerina's CM is somewhere in the upper-body region, as expected.

The roughly estimated CMe along time confirms that the position of the centre of mass in the body's frame of reference is affected by the motion of the arms and legs during the jump, as predicted by Laws [12]. However, where exactly lies the CM of the ballerina during the jump? How can such knowledge help the ballerina improve her performance and increase the "floating" illusion in the *Grand Jeté* jump?

Recently, Carvalho and Rodrigues described a computational method for determining the CM, both for bodies where CM is fixed or changes in relation to the body's frame of reference [19]. We intend to use this model to find the location of the CM along time during the Grand Jeté, in the expected area (the ballerina's upper-body region).

To illustrate and test how the model works, we decided to use data from a previous test experiment, where several colour points of a rigid body (figure 5) were followed by video recording. The position of the CM was fairly well identified [7] as the blue mark (point E), whose vertical representation as a function of time was a parabola.

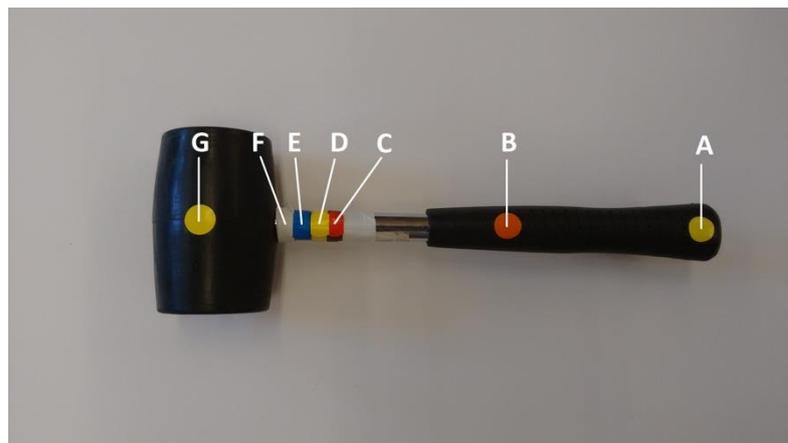


Figure 5: colour points distributed over a rigid body, taken from reference [7].

For this test analysis, all sets of data were considered except the one corresponding to the CM (point E). Figure 6 shows that the Y position over time for the distinct colour points are quite different from each other, but nevertheless the parabolic fit (black dot-line points) obtained with the model matches quite well the blue marks (point E), corresponding to the CM as confirmed in figure 7.

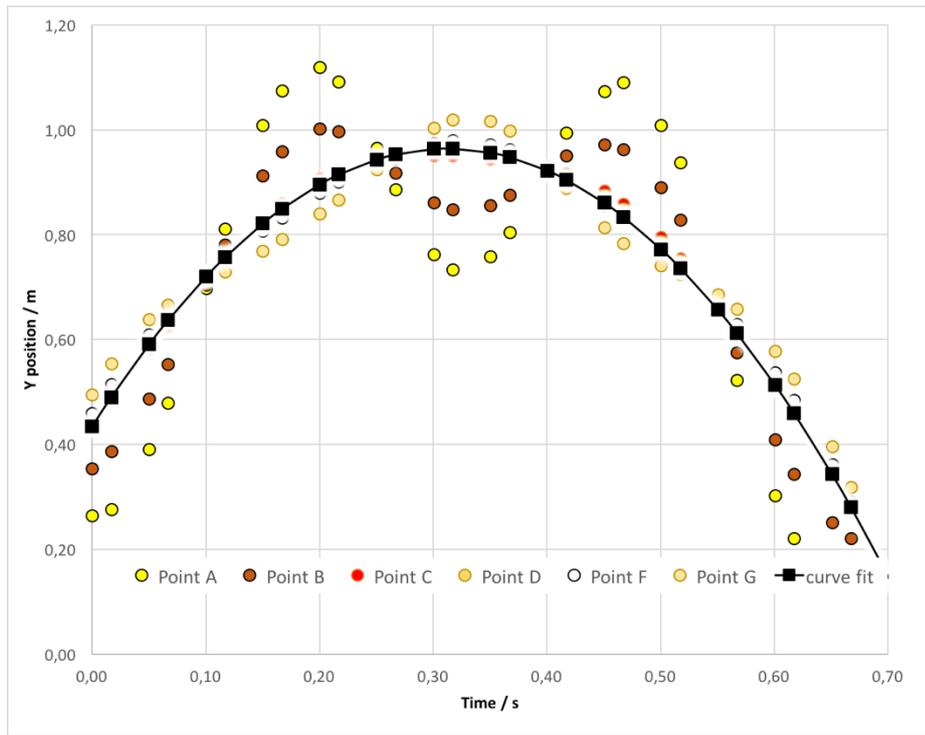


Figure 6: Y positions over time for the colour points of figure 5. The data corresponds to the experiment described in reference [7]. The black dot-line points (curve fit) represent the computed CM from the model.

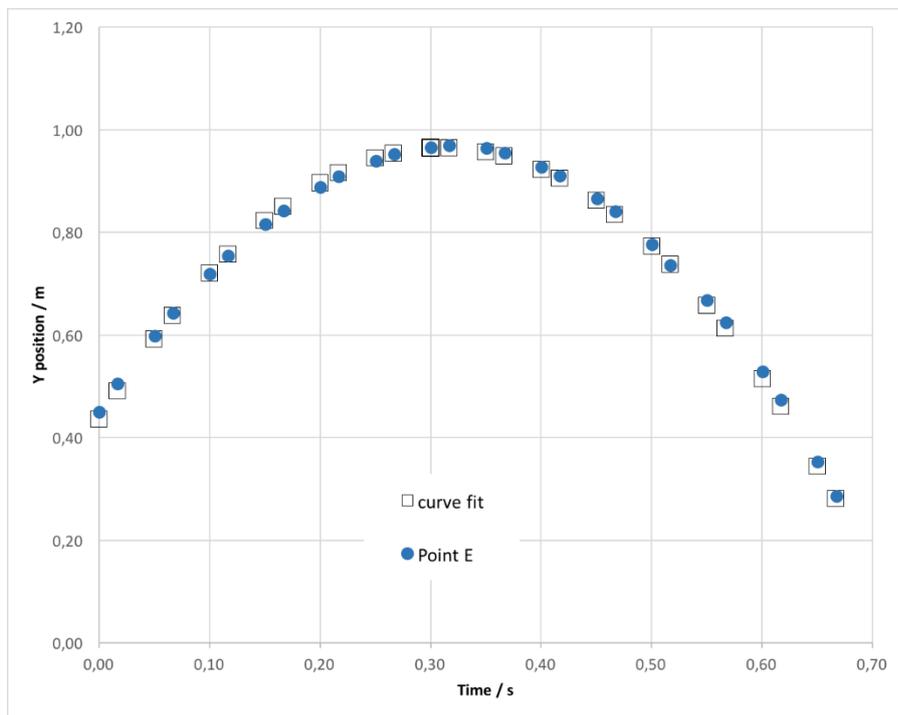


Figure 7: Y positions over time of point E of figure 5 and the computed CM (curve fit) from the model. The match is very good.

So, despite the complex data provided by the weird trajectory of the points, we confirm that the model can find the fixed CM of the hammer (rigid body) as predicted by the authors [7]. In the ballerina's case, the computed CMe suggests that the most probable location of CM in the *Grand Jeté* along time, is somewhere in the upper-body element (figure 4), which in a reasonable approximation can be considered as a rigid body-like region (i.e., the relative positions of the external coloured marks are constant). Therefore, we can apply the fitting model of reference [19] in the way described for the hammer, to compute a more rigorous location of the ballerina's CM. Note that unlike the hammer, the CM of the ballerina changes along the upper-body region, although that is not a problem for the model (see [19]).

Figure 8 shows a plot of the Y positions of the colour circles in the ballerina's body, as well as the CM computed from the model. The parabolic shape of CM in the body's frame of reference indicates a similar behaviour to that found for the estimated CMe in figure 4.

Analyzing figures 4 and 8 we can see that in the ascending phase of the jump, the legs and arms are lifted and contribute to the rise of CM across the upper-body's frame of reference. Consequently, the head and the upper-body paths are different from the parabolic trajectory of the CM relatively to the floor.

At the middle of the jump, the upwards displacement of CM is essentially due to the split of the legs, while the ballerina maintains her head and upper-body in the air in a nearly horizontal stable trajectory (the plateau-like region). To extend this effect during the descendent phase of CM, she starts to close her legs to keep her head and upper-body at nearly the same height from the ground. This plateau-like region lasts for about 0.20 seconds. For a spectator point of view that gives the so-called illusion of "floating". The best performance is achieved if the total split occurs when the CM is at the maximum height.

So, the "floating" illusion will therefore depend on the synchronization between the vertical position of the upper-body and the speed with which the limbs (legs and arms) are relocated, to increase the plateau-like effect as much longer as possible. This knowledge helps the ballerina to get the best timing to reposition the parts of her body and improve her technique and performance of the *Grand Jeté* jump.

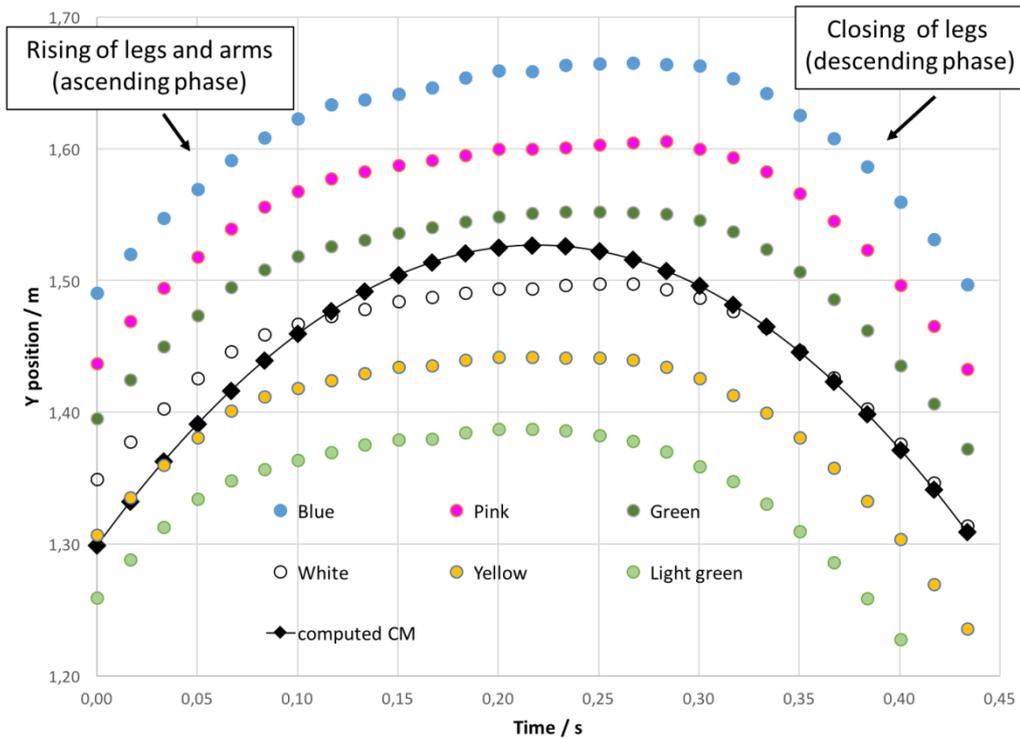


Figure 8: Plot of the Y positions described by the colour circles in the ballerina's body. The black dot-line points represent the computed CM, which is described by the parabolic function  $Y = -4,7 t^2 + 2,1 t + 1,3$  (m). The computed acceleration is of about  $9,4 \text{ m/s}^2$ .

#### 4. Conclusions

In this work, we have confirmed that a ballerina changes the position of her body's centre of mass in her own upper-body frame of reference, by moving her legs and arms during a jump, as suggested by Laws in his qualitative approach to the *Grand Jeté* jump. This is a counter-intuitive result, that is never observed for strictly rigid bodies.

The synchronization between the vertical position of the body and the speed of the limbs creates the weird plateau-like trajectory of the head and upper-body elements, giving the illusion of a ballerina "floating" in the air. The timing these gestures are executed contribute to the performance of the ballerina, therefore the quantitative knowledge of how these movements influence the duration of the "floating" illusion takes an important role in the ballerina's technique.

To enrich the study of the *Grand Jeté* we used a fitting model for computing the parabolic motion of the ballerina's centre of mass, thus providing a more rigorous location of the CM with time. The good performance of the fitting in explaining quantitatively the *Grand Jeté* jump, recommends that the model may be useful for athletes and coaches, for improving the technique and increase the "floating" illusion in the jump.

Is the ballerina's "floating" a real effect or just an illusion? Physically, it is an illusion created by the way the centre of mass moves along the ballerina's upper-body frame

of reference. Artistically, it is a real optical effect produced by the trajectories of the ballerina's body elements. The better the effect the greater the emotions created by the jump, and that is the real "magic" of ballet.

The video analysis and the experimental computation show in this paper, can be done in other sports to study and understand the motions of athletes, and eventually to optimize their performances. Results of these studies will be published elsewhere.

### **Acknowledgments:**

The authors are indebted to Ballet teachers Flavia Silveira and Renata Silveira of the *La Vie Danse Academy* for their valuable contribution and professionalism. The authors are also indebted to Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro for the incentive to research. This work was funded by Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Project UID/NAN/50024/2013 and by CAPES (BEX 3275/15-9).

### **References**

- [1] Reidl, C.J., 1995, Three methods of Finding Center of Mass, *The Physics Teacher*, 33(2), 126-127.
- [2] Brunt, M., Brunt, G., 2013, The Earth, the Moon and conservation of momentum, *Physics Education*, 48(6), 760-764.
- [3] Castillo-Jiménez, F., 1963, Photographs of the Centre of Mass, *American Journal of Physics*, 31(4), 299-302.
- [4] Horowitz, Y.S., 1972, A simple demonstration of the concept of center of mass, *The Physics Teacher*, **10**, 464-465.
- [5] Beatty, M.F., 1972, Lagrange's Theorem on the Center of Mass of a System of Particles, *American Journal of Physics*, 40, 205-207.
- [6] Eckroth, C.A., 1990, Earth and Moon Motions Around their Common Center of Mass, *The Physics Teacher*, 28, 425.
- [7] Dias, M.A., Carvalho, P.S., Rodrigues, M., 2016, How to determine the centre of mass of bodies from image modelling, *Physics Education*, 51(3), 25001 (2016).
- [8] Pavol, M.J., Owings, T.M., Grabiner, M.D., 2002, Body segment inertial parameter estimation for the general population of older adults, *Journal of Biomechanics*, 35, 707-712.

- [9] Dumas, R., Chèze, L., Verriest, J.-P., 2007, Adjustments to McConville et al. and Young et al. body segment inertial parameters, *Journal of Biomechanics*, 40, 543–553.
- [10] Edge, R.D., 1985, Distinction between center of mass and center of gravity – Oscillation of rod-shaped satellite as an example, *American Journal of Physics*, 53(10), 1002-1004.
- [11] Allain, R., *Olympic Physics: Diving and the Moment of Inertia*, Wired-Culture, 08/11/2012. Available at: <https://www.wired.com/2012/08/diving-and-the-moment-of-inertia/> .
- [12] Laws, K., Sugano, A., Swope, M. Schiavone, G., 2008, *Physics and the Art of Dance - understanding movement*. Oxford University Press. second edition
- [13] Dias, M.A., Carvalho, P.S., Vianna, D.V., 2016, Using image modelling to teach Newton's Laws with the Ollie trick, *Physics Education*, 51(4), 045008 (6pp).
- [14] Serway, R., Beichner, R., *Physics for Scientists and Engineers*, 5<sup>th</sup> Ed., Saunders College Publishing, Orlando, 2000 (pp. 269-270).
- [15] de Leva, P. 1996, Adjustments to Zatsiorsky-Selunayov's segment inertia parameters, *Journal of Biomechanics*. 29, 1223–1230.
- [16] Santschi, W.R., Dubois, J., Omoto, C. 1963. *Moments of inertia and centers of gravity of the living human body*, AD-410-451, Wright-Patterson Air Force Base, OH.
- [17] Tözeren, A., 2000, *Human Body Dynamics: Classical Mechanics and Human Movement*, Springer, New York.
- [18] Brown, D., Cox, A.J., 2009, Innovative Uses of Video Analysis, *The Physics Teacher*, 47, 145-150.
- [19] Carvalho, P. S., Rodrigues, M. J., 2017, The centre of mass of a 'flying' body revealed by a computational model, *European Journal of Physics*, 38, 015002 (9 pp).

## 4.6. ARTIGO 6 - O LANÇAMENTO OBLÍQUO DE UMA BOLA DE BASQUETE

---

Neste exemplo mostramos como uma modalidade estudada e praticada pelos alunos no âmbito da disciplina educação física pode ser contexto de aprendizagem dos conceitos e das leis do movimento da partícula, nesse caso o lançamento oblíquo. As filmagens foram feitas na escola por um aluno da turma onde foi aplicada a intervenção didática. Esse artigo foi corresponde a um trabalho apresentado na forma de pôster no XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, na cidade de São Carlos – SP em janeiro de 2017.

---

### PERCEPÇÕES E RESULTADOS DE UMA PROPOSTA DE ENSINO DO LANÇAMENTO OBLÍQUO NO CONTEXTO DO BASQUETE COM A VIDEOANÁLISE

**Antônio Márcio das Neves Gonçalves<sup>1</sup>, Marco Adriano Dias<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> IFRJ-Campus Nilópolis, antoniomarcio25@gmail.com

<sup>2</sup> IFRJ- Campus Nilópolis, marco.dias@ifrj.edu.br

#### **Resumo**

*Neste trabalho apresentamos os resultados de uma proposta de intervenção didática para o ensino do movimento bidimensional de projéteis no contexto do lançamento de uma bola de basquete feito pelos próprios alunos. Os lançamentos foram filmados e os movimentos da bola analisados a partir do Tracker. O fato de o material didático constituir-se a partir de uma situação real, a qual é praticada por muitos jovens, envolveu os alunos em seu próprio aprendizado num processo de investigação didática. A metodologia de ensino e a estrutura da intervenção didática utilizados no processo produziram respostas interessantes, as quais foram categorizadas e transcritas. Verificamos nas respostas concepções alternativas sobre o conceito de força, e também evidências de diferenciação entre grandezas escalares e vetoriais. O desenvolvimento dessa intervenção didática como uma atividade investigativa contribuiu para que os alunos aprendessem os conceitos envolvidos no fenômeno de forma participativa e interativa, o que colaborou para a alfabetização científica. Concluímos que a escolha dessa estratégia traz vantagens para o ensino experimental e colabora para a construção da alfabetização científica, pois faz uso de recursos acessíveis à escola, computador, câmera filmadora e quadra de basquete. Assim, mesmo nas escolas que não*

são equipadas com laboratório didático, desde que o professor conheça a videoanálise, os alunos têm oportunidade de aprender a partir de atividades experimentais investigativas.

**Palavras-chave:** Atividades Investigativas, Videoanálise, Alfabetização Científica, Física dos Esportes.

### **A necessidade de se ensinar física num contexto ao qual o aluno vivencia**

Ensinar as ciências naturais tem se mostrado um desafio para os educadores, uma vez que é importante que o que se ensina tenha aplicações no cotidiano dos alunos (MENDES *et al.*, 2007). Na física, o panorama atual é de grande dificuldade dos alunos em fazer conexões entre o que lhes é ensinado com as atividades que eles realizam quando não estão nas aulas (POZO e CRESPO, 2009), e essa falta de contextualização, associada a pouca interação entre os alunos e o que lhes é ensinado, são algumas razões para as dificuldades de aprendizagem. Em geral, os alunos não conseguem generalizar os conceitos envolvidos na solução dos problemas propostos, pois eles gravam modelos de exercícios e, por isso, têm muita dificuldade em perceber a aplicabilidade daquele conhecimento no seu cotidiano (POZZO e CRESPO, 2009).

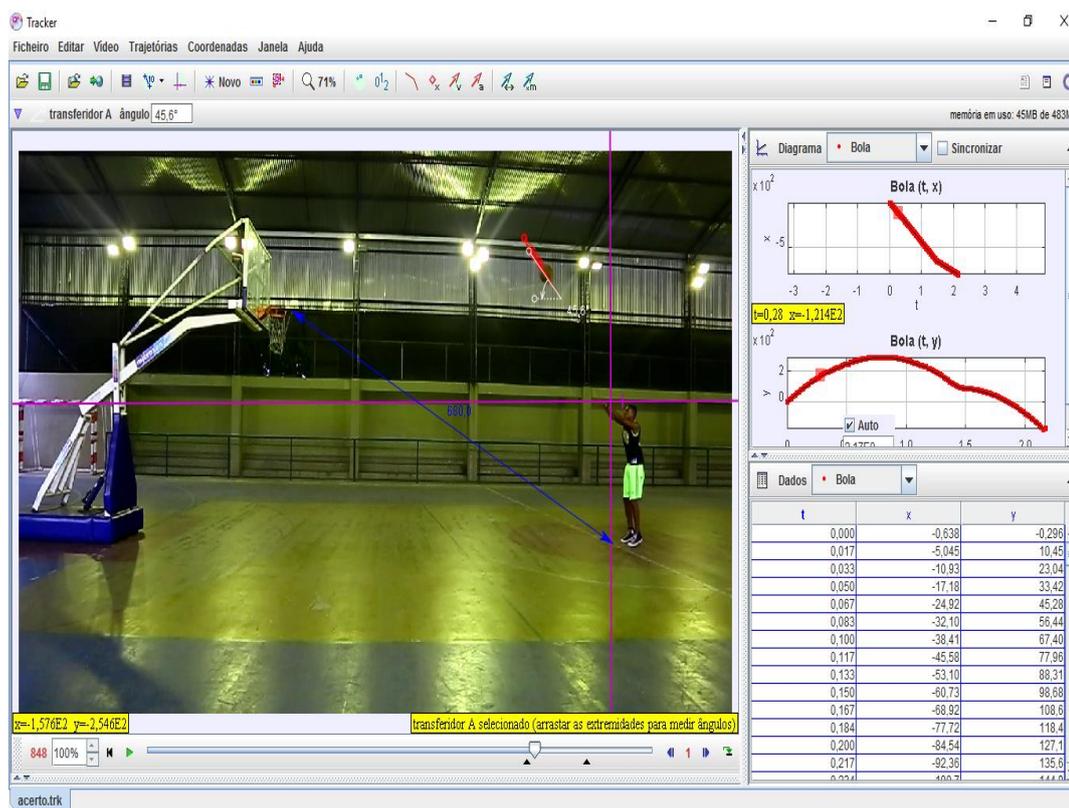
Outro fator importante é que a maioria dos exemplos que são utilizados para a solução dos problemas propostos nos livros didáticos são situações ideais, ou seja, sem atrito, sem resistência do ar, com a gravidade de valor  $10 \text{ m/s}^2$  etc. Ainda que essas aproximações tenham como objetivo facilitar a aprendizagem conceitual, pois elas minimizam as operações matemáticas na construção dos modelos científicos, é importante que seja dada aos alunos a oportunidade de aprender a Física num contexto real, onde os fatores que são desprezados nos livros didáticos, nesse caso, precisam ser considerados (SANTOS e TIMES, 2015). Trata-se de dar oportunidade aos alunos de praticarem uma Física experimental, mas sem o controle que os equipamentos, tais como os trilhos de ar, oferecem. Uma Física experimental do cotidiano, onde os modelos são complexos, mas ricos na sua fenomenologia e, por isso, abrem grandes oportunidades de aprendizagem científica (SANTOS e TIMES, 2015). Assim, os alunos têm oportunidade de vivenciar a cultura científica e desenvolver as habilidades e competências inerentes ao processo de alfabetização científica (LEMKE, 2009).

Visando contribuir para que o processo aprendizagem, e de alfabetização científica (CARVALHO, 2008), ocorra num ambiente de investigação de fenômenos do cotidiano, apresentamos uma proposta de intervenção didática aplicada em uma turma do ensino médio sobre o movimento bidimensional de projéteis no contexto da modalidade basquete. A ferramenta utilizada para o desenvolvimento das intervenções didáticas foi a videoanálise e os materiais didáticos utilizados pelos alunos foram vídeos deles próprios, gravados durante o arremesso da bola a seis metros de distância da cesta. Os vídeos foram carregados nos computadores da escola e os movimentos da bola de basquete foram analisados e modelados a partir do *Tracker* (BROWN, 2008)

Algumas das vantagens na utilização da videoanálise como ferramenta é que ela possibilita ao aluno vivenciar uma atividade prática com materiais acessíveis e de baixo custo, pois com ela o professor leva o laboratório para a sala de aula (DIAS, CARVALHO e RODRIGUES, 2016; DIAS, CARVALHO E VIANNA, 2016). Com isso, possibilita-se que aqueles alunos que estudam em escolas sem laboratório tenham a oportunidade de um ensino experimental para sua alfabetização científica.

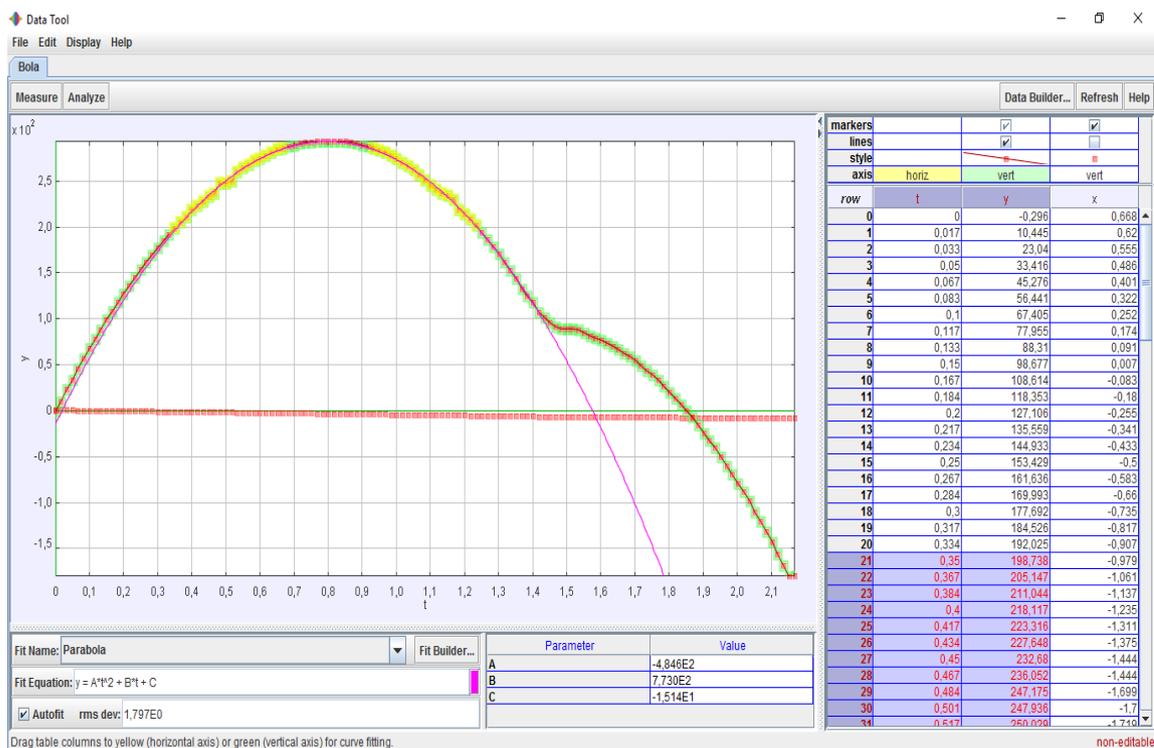
## 1. A videoanálise do movimento de uma bola de basquete com o software

O *Tracker* é um software livre que possibilita professores e alunos desenvolverem análises de movimentos a partir de vídeos ou fotos. Com ele é possível montar gráficos, visualizar vetores, ângulos, velocidades, distâncias e outras propriedades e grandezas físicas associadas aos movimentos. Na figura 01 mostramos a interface do *Tracker* onde pode-se notar a presença vetores superpostos ao vídeo, tabelas e gráficos de dados relativos ao movimento em estudo, nesse caso o lançamento da bola de basquete. O software é disponibilizado gratuitamente em português e para aprender a utilizá-lo é possível acessar tutoriais no *Youtube*.



**Figura 01:** Interface do Tracker com o vídeo do lançamento da bola de basquete sendo analisado. No lado direito estão uma tabela com os dados das posições horizontal e vertical, além de um gráfico da posição  $y$  em função do tempo. É possível visualizar o vetor velocidade da bola para a posição dela representada na figura.

O software permite o ajuste de funções aos pontos experimentais, possibilitando a modelagem do movimento. Na figura 02 é exemplificado o ajuste parabólico da variação da posição  $y$  em função do tempo do movimento da bola antes de chegar ao aro. Esse ajuste resultou num valor para a aceleração da gravidade de  $9,70 \text{ m/s}^2$ . Esse valor é pouco discrepante do valor auferido com técnicas mais precisas para a localidade onde foi realizada a atividade ( $\sim 9,79 \text{ m/s}^2$ ) o que comprova que o Tracker é uma ferramenta bastante precisa para fins didáticos.



**Figura 02:** Para o lançamento de uma bola de basquete no aro, a figura mostra os dados experimentais, o gráfico da posição  $y$  em função do tempo, a parábola ajustada para o movimento antes do aro e os parâmetros da equação.

## 2. Proposta de atividade investigativa sobre o lançamento de seis metros

A intervenção didática ocorreu numa turma do primeiro ano do ensino médio. Os vídeos foram previamente gravados a partir de lançamentos da bola realizados pelos próprios alunos, a uma distância de seis metros do aro, na quadra da escola. A intervenção foi planejada para ocorrer em cinco etapas, conforme descrito a seguir:

- 1ª etapa: apresentação dos vídeos dos lançamentos;
- 2ª etapa: debate sobre os vídeos;
- 3ª etapa: perguntas sobre os vídeos;
- 4ª etapa: análise dos vídeos;
- 5ª etapa: conclusões.

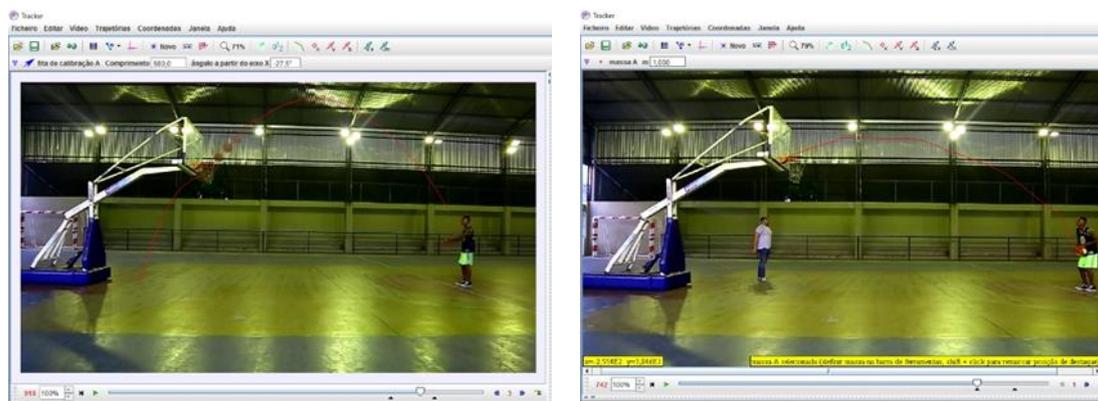
Foram escolhidos vídeos de duas situações de lançamento: uma com trajetória alta (figura 03a) outra com trajetória baixa (figura 03b). Os lançamentos com trajetória alta tiveram alto percentual de acerto, enquanto que os de trajetória baixa tiveram alto percentual de erro.

Após os grupos terem assistido aos vídeos (1ª etapa), foi aberto um debate para que os alunos expusessem suas opiniões sobre os lançamentos (2ª etapa). O objetivo deste debate foi verificar se eles faziam conexões com conhecimentos

aprendidos previamente, escolarizados ou espontâneos. No debate os alunos não fizeram menções sobre conteúdos conceituais aprendidos anteriormente, porém todos os alunos perceberam a diferença na altura que a bola alcançou nos diferentes arremessos e nas velocidades iniciais dos arremessos. Findado o debate foram feitas duas perguntas abertas para que os grupos formulassem explicações (3ª etapa).

### 2.1 Primeira pergunta: por que ocorreram mais acertos na trajetória elevada e mais erros na trajetória rasante?

Essa pergunta foi quanto aos tipos de arremessos (figura 03a e 03b). Nela procuramos verificar se os alunos perceberam as diferentes trajetórias dos arremessos e se formulariam explicações para os altos percentuais de acertos nas trajetórias altas e os altos percentuais de erros nas trajetórias baixas.



**Figura 03:** (a) Lançamento com trajetória mais elevada e alto percentual de acerto; (b) lançamento com trajetória mais rasante e alto percentual de erro.

Verificamos que as respostas dos alunos dividiram-se em duas categorias. Numa dessas categorias o alto índice de erros para o lançamento rasante foi justificado pelo fato de, nesse caso, a bola chegar à cesta com *menos força* (categoria A1). A outra categoria associava o alto número de acertos para o lançamento elevado à verticalidade da trajetória nas proximidades do aro (categoria A2). Alguns resultados são transcritos a seguir:

**Tabela 01:** exemplos de resposta da 1ª pergunta.

Exemplo de resposta para a categoria A1	Exemplo de resposta para a categoria A2
<i>Acho que o arremesso mais alto é mais fácil de acertar do que o mais rasante, pois ele é um pouco mais lento e chega à cesta com menos força.</i>	<i>Verificamos que os acertos da bola na cesta ocorreram sempre no arremesso mais alto, acreditamos que isso ocorreu porque os ângulo de lançamento destes arremessos são maiores do que os arremessos mais rasantes. Por isso nos acertos a bola chegou sempre mais na vertical em relação ao aro, e nos erros a bola chegava sempre mais na horizontal em relação ao aro.</i>

A partir das respostas dos alunos na categoria A1 verificamos uma associação do conceito de quantidade de movimento ao que os alunos chamam de *força*. Para as

respostas da categoria A2 há evidências de um raciocínio vetorial, pois uma trajetória *mais na vertical* indica uma menor projeção horizontal do vetor velocidade nas proximidades do aro, o que aumenta a chance de acerto. A sistematização de uma resposta junto aos alunos generalizou que quanto maior a quantidade de movimento vertical da bola imediatamente antes de tocar no aro, maiores as chances de ocorrer a cesta. Nessa generalização foi desconsiderado o movimento de rotação da bola.

## 2.2 Segunda pergunta: se você fosse o treinador desse atleta, de que forma você o orientaria para que o percentual de acertos no lançamento rasante aumentasse?

Para essa pergunta as respostas foram mais divergentes e, assim, classificamo-las em três categorias. Na categoria B1 a proposta dos alunos envolvia a colisão da bola com a tabela antes de entrar na cesta, porém a ideia de que o acerto na cesta estava relacionado à força permaneceu no discurso dos alunos; Na categoria B2, assim como na categoria A1 e na B1, novamente ficou evidente a concepção espontânea de que a força era o agente físico com relação direta aos acertos na cesta; e na categoria B3 as respostas estavam relacionadas ao alcance da trajetória da bola. Foi possível perceber nas respostas que os alunos estavam mais preocupados em elaborar explicações com conceitos científicos. Algumas respostas estão transcritas a seguir:

**Tabela 02:** exemplos de resposta da 2ª pergunta.

Exemplo de resposta na categoria B1	Exemplo de resposta na categoria B2	Exemplo de resposta na categoria B3
<i>Nós pediríamos ao jogador para mirar a bola no quadrado da tabela, para que a bola perdesse força e mudasse de direção caindo na cesta.</i>	<i>Aconselharíamos o jogador para jogar a bola com menos força.</i>	<i>Nós pediríamos para o jogador dar um passo para trás, com isso acreditamos que ao invés da bola bater na parte traseira do aro a bola entraria direto.</i>

## 3 A videoanálise para modelar o movimento da bola de basquete

Após as respostas às duas perguntas iniciamos a 4ª etapa da intervenção, que foi a videoanálise do movimento da bola. Nessa etapa eles tiveram oportunidade de fazer medidas, analisar o comportamento vetorial da velocidade ao longo da trajetória, analisar tabelas e gráficos e, por fim, construir os modelos matemáticos para o movimento em duas dimensões de uma partícula, sem a resistência do ar. Como se trata de uma atividade experimental, os valores da aceleração da gravidade obtidos pelo ajuste da função aos pontos experimentais foram diferentes daqueles encontrados nos livros didáticos. Esse fato gerou um questionamento interessante por parte dos alunos, conforme a transcrição a seguir:

*“Professor eu já vi em outros livros que o valor da aceleração da gravidade é de  $9,81 \text{ m/s}^2$  e a aceleração que eu achei está bem perto disso, mas mesmo assim não é igual.”*

A partir desta colocação pudemos tratar aspectos inerentes à práxis científicas, como incertezas de medidas e suas propagações. Também foi possível tratar aquilo que se deve considerar e aquilo que se deve desconsiderar num experimento além de possibilitar uma reflexão sobre como se faz ciência.

De posse do modelo matemático os alunos puderam fazer previsões sobre o alcance horizontal, altura máxima e tempo de voo. Após realizarem os cálculos solicitados eles compararam seus resultados entre os grupos e verificaram que suas respostas acabaram sendo muito parecidas.

Terminada a 4ª etapa solicitamos aos alunos que escrevessem suas conclusões acerca do que foi trabalhado na intervenção (5ª etapa). A seguir citamos duas transcrições:

*“Gostamos muito da aula de hoje, ela foi bem dinâmica e nos ensinou a entender melhor (...). Quanto à 1ª questão gostaríamos de dizer que percebemos que a maior diferença entre os arremessos é como a bola chega ao aro, pois nos dois arremessos nos quais houveram os acertos a direção do vetor velocidade apontava mais para baixo e nos arremessos rasantes a bola chegava com o vetor apontando mais para a tabela. Já na segunda questão aconselhamos o jogador a se afastar um pouco do aro, porém achamos que a melhor opção agora seja o jogador chegar mais perto do aro e lançar a bola com uma força menor.”*

*“Achamos a aula bem diferente e legal agora já sei uma coisa que nós podemos usar no nosso dia é Agora também entendemos porque os livros sempre usam números inteiros. A única coisa que nós mudaríamos na primeira questão é que diríamos que o arremesso mais alto é sempre melhor.”*

### **Considerações finais**

Concluimos que a videoanálise associada a uma metodologia que permita aos alunos interagirem com o fenômeno em estudo contribui para a aprendizagem científica, uma vez que, com a videoanálise aquilo que o aluno sabe, saber prévio, pode ser considerado no processo de construção do conhecimento. Concluimos também o potencial da ferramenta para melhorar a afetividade dos alunos perante a física; Isso porque percebemos que foi grande a motivação em aprender conceitos, leis e modelos da física num contexto amplamente praticado na escola, porém fora da sala de aula: o basquete.

Ao analisar as respostas percebemos que, após a intervenção, os alunos demonstraram uma evolução na capacidade de relacionar conceitos físicos com a atividade esportiva do basquete. De uma maneira geral, os alunos têm bastantes dificuldades em relacionar os conhecimentos da física aprendida na escola com as atividades que eles realizam em seus cotidianos. Porém, quando conseguem fazer essa relação, se mostram mais seguros na construção de argumentos científicos para fundamentarem suas respostas aos questionamentos feitos pelo docente. Essas

percepções nos levaram a reconhecer a necessidade de aprofundar esse estudo, buscando indicadores de alfabetização científica durante a construção de argumentos, nas dimensões estruturante e epistemológica, de acordo com Sasseron e Carvalho (2013).

### Referências

BROWN, D. Tracker, 2008. Disponível em <http://physlets.org/tracker/> (acessado em 27-10-2016)

CARVALHO, A. M. P. Enculturação Científica: uma meta no ensino de ciências. XIV ENDIPE. Porto Alegre: Abril. 2008. p. 1-12.

DIAS, M. A.; CARVALHO, P. S.; E RODRIGUES, M. How to determine the Centre of Mass of bodies from Image Modelling. Physics Education, v. 2, n. 51, 2016.

DIAS, M. A.; CARVALHO, P. S.; E VIANNA, D. M. The Image Modeling for teaching Newton's Laws with the Ollie Trick. Physics Education, v. 3, n. 51, 2016.

LEMEK, J. L. Investigar para el futuro de la education científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. Enseñansa de lãs ciencias. [S.l.]: [s.n.]. 2006. p. 5-12.

MENDES, R. M. B. et al. Dificuldades dos alunos do Ensino Médio com a Física e os Físicos. XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física., São Luís-MA, 29 a 02 Janeiro a Fevereiro 2007.

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

SANTOS, J. C.; TIMES, K. D. S. APRENDIZAGEM E ENSINO DE FÍSICA: FRAGILIDADES. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2015, Uberlândia-MG, 26 a 30 Janeiro 2015.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Ações e indicadores da construção do argumento em aula de Ciências. Revista Ensaio, Belo Horizonte , v. 15, n. 2, p. 169-189, maio-ago 2013.

## 4.7. DISCUSSÃO

---

Os exemplos apresentados neste capítulo nos permitem perceber o vasto espectro de possibilidades de contexto de investigação possíveis de ser promovidos em sala de aula com os recursos da imagem estroboscópica e da videoanálise associados. Em todos os exemplos a imagem estroboscópica, em sua função mais genuína de uma cronofotografia do movimento, pode ser utilizada como meio para a observação pormenorizada do movimento, enquanto a videoanálise pode ser utilizada como ferramenta para fazer medidas, construir gráficos e modelar o movimento.

Além do espectro de contextos, esses recursos também permitem o desenvolvimento de intervenções didáticas em diversos enfoques. No primeiro artigo (4.1) procuramos exemplificar um enfoque histórico-epistemológico, no segundo (4.2) um enfoque empirista e no terceiro (4.3) um enfoque investigativo. Na sequência buscamos exemplificar um enfoque da Física nos esportes (4.4 e 4.6) e um enfoque em Ciência e Arte (4.5). Acreditamos que outros enfoques podem ser explorados com a utilização desses recursos, dependendo apenas das escolhas docentes e da necessidade discente.

Em qualquer contexto/enfoque escolhido, consideramos que imagem estroboscópica e videoanálise são recursos complementares para a promoção de um ensino por investigação sobre o movimento a partir de vídeo. Isso porque, em nossa metodologia de ensino apresentada no capítulo 3, após o professor apresentar a situação problema e solicitar aos alunos levantarem suas hipóteses (etapa P na metodologia POE), o fenômeno em estudo pode ser demonstrado tanto com a reprodução do vídeo quanto com a exibição da imagem estroboscópica (etapa O). Para a construção de uma explicação para o fenômeno (etapa E) a videoanálise é um recurso importante, pois, num ensino por investigação, a construção dos argumentos pelos alunos deve ser fundamentada em dados.

Até aqui temos alguns questionamentos importantes que foram respondidos no âmbito do nosso trabalho e que vale a pena ser colocados. Todas as perguntas e respostas, que citaremos a seguir, são interdependentes entre si e inerentes ao nosso problema de investigação, o que quer dizer que não podem ser generalizadas para outras situações. Algumas perguntas estão centradas na figura do docente, como: o

que ensinar? qualquer conteúdo científico que envolva movimento; com o que ensinar? com os recursos para vídeo: imagens estroboscópicas e videoanálise; como ensinar? com a promoção de um ensino investigativo; o que é aprender? ser alfabetizado cientificamente. Por outro lado, como consideramos o processo de ensino indissociável da aprendizagem, há uma pergunta de grande importância e que está centrada na figura do discente: como verificar se houve a aprendizagem e avaliar nossa proposta? A resposta para esse último questionamento será colocada no capítulo seguinte, onde apresentaremos os resultados da pesquisa sobre a promoção da Alfabetização Científica com os recursos de vídeo.

## **5. INTERVENÇÃO DIDÁTICA DE INVESTIGAÇÃO SOBRE A QUEDA DOS CORPOS: PLANEJAMENTO, APLICAÇÃO E RESULTADOS**

---

Como discutimos no capítulo 3, um ensino que se proponha contribuir para a Alfabetização Científica dos alunos deve considerar que existem habilidades que caracterizam uma pessoa ser alfabetizada cientificamente (*a meta*). Também discutimos que promover a alfabetização científica demanda uma concepção de ensino em que o aprendiz tenha papel ativo na construção do seu conhecimento, o que requer atividades práticas bem elaboradas que desafiem as suas experiências pessoais encorajando-os a reorganizar suas teorias (*o meio*). Essas atividades devem ter enfoque no desenvolvimento da linguagem e da socialização, habilidades importantes no processo de ensino-aprendizagem por investigação. A fim de atingir a *meta* através do *meio*, desenvolvemos uma metodologia de ensino que chamamos de intervenção didática de investigação baseada em vídeo, também discutida no capítulo 3.

Neste capítulo apresentamos os resultados de uma pesquisa realizada durante uma intervenção sobre a queda dos corpos, na qual buscamos confirmar a nossa hipótese de que a utilização das imagens estroboscópicas e da videoanálise, com uma metodologia de ensino investigativa, promove a alfabetização científica. Os dados foram coletados nas interações dos alunos em grupo durante as etapas da aula em que o professor fez a proposição do problema, os alunos observaram e buscaram, a partir de dados, construir argumentos que explicassem a observação. A partir dos dados coletados buscamos os indicadores de alfabetização científica presentes nas interações dos alunos.

### **5.1. A LINGUAGEM COMO EVIDÊNCIA DA ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA**

---

O papel do desenvolvimento da linguagem e das interações discursivas pelos alunos em sala de aula vem, nas últimas décadas, ganhando importância para a pesquisa em educação em Ciências quando se busca uma compreensão sobre a

construção de sentidos e de conhecimentos sobre Ciências na escola. Como resultado dessa valorização da linguagem, hoje relacionamos interações discursivas com o processo de ensino e aprendizagem em Ciências e, assim, a pesquisa vem buscando uma compreensão sobre como materiais e metodologias potencializam a educação científica, conforme coloca Martins (2006, p. 299)

a possibilidade de relacionar interações discursivas com ensino e aprendizagem na sala de aula trouxe consigo uma importante renovação nas reflexões sobre estas questões e tem contribuído para problematizar, lançar diferentes olhares e propor novas soluções para problemas conhecidos.

Portanto associar as interações discursivas com a educação científica se configura como um paradigma para as pesquisas em ensino e aprendizagem, e é dessa forma que buscamos, neste trabalho, corroborar a nossa hipótese de investigação. Em nossa concepção, aprender ciência é aprender a ‘falar ciência’ (LEMKE, 1997) e, por isso, para verificar se houve aprendizagem científica em qualquer contexto de ensino, seja no intuito de avaliação do processo ou com objetivos de pesquisa, é preciso identificar a *ciência nos diálogos* entre os alunos durante suas interações discursivas para responder a um problema de investigação que lhes fora proposto.

Alguns pesquisadores apresentam estruturas dialógicas que, quando presentes na fala ou na escrita dos alunos, possam evidenciar a construção do conhecimento científico. Lemke (idem, p. 101) propôs que a identificação da *ciência nos diálogos* dos alunos pode ocorrer a partir da observação do que ele chama de *padrão temático* do conteúdo científico. Em linhas gerais, um padrão temático é observado quando, em episódios distintos de ensino – seja num mesmo grupo durante a investigação de tópicos diferentes ou em diferentes grupos durante a investigação de um mesmo tópico, estejam presentes, nas construções dialógicas, vinculações entre os significados das palavras científicas e conhecimentos do senso comum por eles trazidos das suas vivências extraescolares. A existência de *padrões temáticos* durante a construção dialógica revela atividade intelectual do aprendiz, o que significa que ele protagonizou sua aprendizagem, buscando vinculações entre o novo conteúdo a ser aprendido e seu conhecimento previamente adquirido, seja ele cientificamente

aceito ou espontâneo. Dessa forma o aluno não repete palavras irreflexivamente e, de fato, como coloca Lemke,

ao ensinar ciência, ou qualquer outra matéria, não queremos que os alunos simplesmente repitam as palavras como louros. Queremos que sejam capazes de construir os significados essenciais com suas próprias palavras e em palavras ligeiramente diferentes segundo requeira a situação (p. 105 – tradução nossa).

Jimenez Aleixandre (2010) apresenta como ideia chave que a capacidade de argumentação dos alunos é uma das metas para a educação em ciências. Houve um tempo em que o ensino buscava a memorização mecânica dos conceitos, mas, atualmente, cada vez mais há docentes que têm como objetivo de ensino das Ciências fazer com que seus alunos desenvolvam a capacidade de raciocínio, que sejam capazes de formular explicações baseadas em provas, apoiadas por dados. Para essa autora, os objetivos da educação, num sentido mais amplo, vão além do ensino e aprendizagem dos conteúdos específicos das diferentes disciplinas, devendo, esse ensino, colaborar para a formação de cidadãos e cidadãs críticos, capazes de detectar as contradições e inconsistências no discurso das diferentes instâncias sociais, ou seja, uma educação que objetiva o desenvolvimento do pensamento crítico, da capacidade de argumentação. Como sabemos, argumentação é a capacidade de relacionar a explicação a testes, ou, em outras palavras, avaliar o conhecimento com base em evidências disponíveis e, em Ciências,

Aprender a argumentar não é somente avaliar conhecimento, mas também aprender a comunicar ideias de Ciências, persuadir outras pessoas de que uma determinada explicação é a que melhor dá conta de um fenômeno, que uma opção tem mais vantagens que outras. Em outras palavras, comunicar equivale a tornar o processo de avaliação público, seja por escrito ou oralmente (p. 149, tradução nossa).

Scarpa (2015, p. 16) coloca que “desde 1998, a importância das pesquisas em argumentação tem sido constantemente reconhecida (...) como forma de desenvolver

o raciocínio, o pensamento crítico, a metacognição e a compreensão sobre a natureza da ciência”. Portanto, a habilidade de construção de argumento frente à solução de uma situação problema, além de uma meta para a educação científica, é uma evidência de que o conhecimento científico está em construção e, para a pesquisa, “um instrumento de análise muito utilizado para investigar a ‘argumentação científica’, produzida por alunos em situações de ensino de Ciências, é o modelo de Toulmin” (VILLANI; NASCIMENTO, 2003, p. 189).

Dessa forma o modelo argumentativo de Toulmin é uma opção para a busca pela *ciência nos diálogos*, o que evidencia que os alunos tiveram oportunidade de aprender a “falar ciência”. Nesse modelo, uma conclusão (C) é construída a partir dos dados (D), e é garantida (W) por conhecimentos básicos (B). A conclusão pode receber força de um qualificador modal (Q), mas também pode ser refutada (R), o que demanda uma reformulação do argumento.

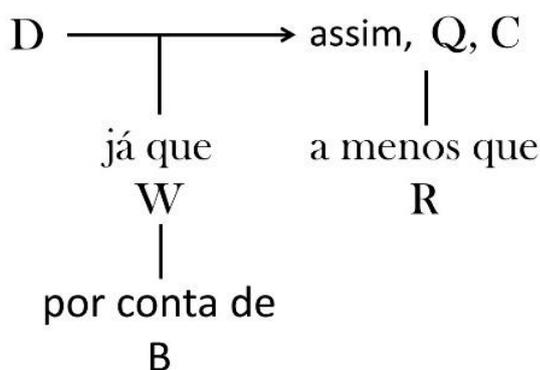


Figura 25: diagrama de um argumento segundo o padrão proposto por Toulmin (Sasseron e Carvalho, 2013)

A identificação de um padrão argumentativo na linguagem dos alunos para responder a um problema a eles proposto é evidência que houve construção do conhecimento científico. Porém, como colocam Sasseron e Carvalho (2013, p. 172), um argumento é um “produto final” do processo de construção do conhecimento e “tão importante quanto o produto final da abordagem de um tema é o processo por meio do qual ocorre a construção de argumentos”. Dessa forma, o padrão argumentativo de Toulmin não contempla algumas características importantes da educação em ciências que são relacionadas ao processo de aprendizagem e que, dentro das

múltiplas definições de alfabetização científica existentes na literatura, são habilidades necessárias para uma pessoa ser alfabetizada cientificamente.

Sasseron e Carvalho (2008) propuseram indicadores que, quando identificados durante o processo de ensino e aprendizagem, evidenciam que a alfabetização científica está em processo. Num levantamento bibliográfico sobre as diferentes definições de alfabetização científica, essas autoras identificaram três pontos de confluência nas diversas definições, aos quais chamaram “eixos estruturantes da alfabetização científica, pois são eles que nos servem de apoio na idealização, planejamento e análise de propostas de ensino que almejem a alfabetização científica” (p. 335). O primeiro eixo se refere à “compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais”, o segundo à “compreensão da natureza da ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática” e o terceiro o “entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente” (Idem).

Fica claro que a identificação das habilidades relacionadas aos eixos estruturantes supramencionados é dificultada quando, na pesquisa, se analisa apenas a argumentação final dos alunos. Por isso as autoras propuseram os indicadores de alfabetização científica, pois para que ocorra o processo de alfabetização científica,

é importante que os alunos travem contato e conhecimento de habilidades legitimamente associadas ao trabalho do cientista. (...) Acreditamos existir alguns indicadores de que estas habilidades estão sendo trabalhadas e desenvolvidas entre os alunos, ou seja, alguns indicadores da Alfabetização Científica, que devem ser encontrados durante as aulas de Ciências e que podem nos fornecer evidências se o processo de Alfabetização Científica está se desenvolvendo entre estes alunos (p. 338).

A busca por indicadores de alfabetização científica tem ocorrido em pesquisas que tentam compreender de que forma as diferentes habilidades podem ser promovidas no ensino de Ciências nas séries iniciais. Mas, visto que os indicadores nos dão oportunidade de verificar a evolução dos alunos nas atividades propostas em que eles sejam sujeitos no processo, o meio acadêmico tem avançado nessa reflexão e, por isso, verificamos

nos últimos anos, um aumento no número de trabalhos que verificam, nas propostas de trabalho que almejam a alfabetização científica, o surgimento de discussões sobre os indicadores do processo de alfabetização científica (...) [que] extrapolam os anos iniciais do ensino fundamental e consideram uma reflexão primordial: a alfabetização científica pode ocorrer em qualquer idade ou nível de escolaridade (PIZZARRO; LOPES JR, 2015, p. 210).

Dessa forma os indicadores de alfabetização científica constituem um conjunto de competências comuns desenvolvidas e utilizadas para a resolução, discussão e divulgação de problemas das Ciências, quando se dá a busca por relações entre o que se vê do problema investigado e as construções mentais que levam ao entendimento dele. São habilidades que têm semelhanças com o fazer ciência, ou seja, com a prática investigativa. Penha, Carvalho e Vianna (2015) organizaram esses indicadores conforme colocamos no quadro 2.

Quadro 2 – Indicadores de Alfabetização Científica. Fonte: Penha; Carvalho; Vianna, 2015.

<b>Indicadores da Alfabetização Científica</b>		
<b>Indicadores para trabalhar com os dados de uma investigação</b>	<b>Seriação de informações</b>	Indicador que não necessariamente prevê uma ordem a ser estabelecida, mas pode ser uma lista de dados trabalhados
	<b>Organização de informações</b>	Ocorre nos momentos em que se discute sobre o modo como um trabalho foi realizado
	<b>Classificação de informações</b>	Ocorre quando se busca conferir hierarquia às informações obtidas.
<b>Indicadores para estruturação do pensamento</b>	<b>Raciocínio lógico</b>	Compreende o modo como as ideias são desenvolvidas e apresentadas e está diretamente relacionada à forma como o pensamento é exposto.
	<b>Raciocínio proporcional</b>	Mostra como se estrutura o pensamento, e refere-se também à maneira como variáveis têm relações entre si, ilustrando a interdependência que pode existir entre elas

<b>Indicadores para entendimento da situação analisada</b>	<b><i>Levantamento de hipóteses</i></b>	Aponta instantes em que são alçadas suposições acerca de certo tema (pode surgir na forma de uma afirmação ou de uma pergunta).
	<b><i>Teste de hipóteses</i></b>	Colocar à prova as suposições anteriormente levantadas (pode ocorrer tanto diante da manipulação direta de objetos quanto no nível das ideias).
	<b><i>Justificativa</i></b>	Quando em uma afirmação qualquer proferida lança mão de uma garantia para o que é proposto.
	<b><i>Previsão</i></b>	É explicitado quando se afirma uma ação e/ou fenômeno que sucede associado a certos acontecimentos
	<b><i>Explicação</i></b>	Quando se busca relacionar informações e hipóteses já levantadas. (Estão relacionadas à justificativa para o problema).

## 5.2. A BUSCA POR INDICADORES DE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

---

Apresentamos nesta seção uma análise dos resultados da pesquisa cuja hipótese é que as imagens estroboscópicas e a videoanálise são recursos com potencial para promover a alfabetização científica. O projeto de pesquisa foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa e aprovado no parecer consubstanciado 1.610.751 em 28 de junho de 2016, sob o título “A Modelagem de Imagem como recurso para intervenções didáticas de investigação”, disponibilizado no Anexo 1. A pesquisa foi realizada com alunos da primeira série do ensino médio, muitos dos quais em seu primeiro contato com a disciplina Física, numa escola do ensino médio-técnico da rede federal no município de Nilópolis no Rio de Janeiro. A escola autorizou a realização da pesquisa (termo de autorização – Anexo 2) e, para a participação dos alunos, foram necessários seu assentimento (Anexo 3) e o consentimento dos responsáveis (Anexo 4).

Como sabemos, para ingressar no ensino médio técnico os alunos passam por um processo seletivo e, ao se prepararem para o certame, muitos desses alunos

frequentam cursos preparatórios que os “ensinam a resolver problemas”. Por isso, nesse primeiro contato com a Física, consideramos que esses alunos trazem consigo algumas mistificações sobre essa disciplina, as quais confrontamos com uma metodologia de ensino que busca promover a alfabetização científica, a intervenção didática de investigação baseada em vídeo descrita no capítulo 3.

O fenômeno escolhido para a intervenção didática foi a queda dos corpos. Dentre as muitas possibilidades de escolha para uma intervenção com os recursos das imagens estroboscópicas e da videoanálise, conforme mostramos no capítulo 4, a escolha da queda dos corpos se deu por alguns motivos. O primeiro deles é que esse tema está presente na maioria dos currículos tradicionais de ensino, inclusive na escola onde foi realizada a intervenção, ou seja, é um assunto clássico para o ensino de Física. O segundo motivo é porque se trata de um fenômeno que, por mais que esteja presente no cotidiano das pessoas, mesmo após as etapas de escolarização formais, há persistência das concepções aristotélicas de que, por exemplo, corpos mais pesados sempre caem, de uma mesma altura, em intervalos de tempo menores do que corpos mais leves. Por isso, se trata de um tema rico para a educação científica, pois, como os alunos trazem conhecimentos prévios sobre o fenômeno, esses conhecimentos podem ser considerados no processo de alfabetização científica. O terceiro motivo é que se trata de um tema com estreita relação com a gênese da ciência e, por isso, rico em possibilidades de desenvolvimento de diálogos sobre os próprios paradigmas científicos, sua epistemologia, história e filosofia.

Nossa escolha pelo tema também foi influenciada por uma questão relacionada à nossa experiência na prática docente com a utilização desses recursos. Como as imagens estroboscópicas e a videoanálise nos permitem um amplo espectro de contextos de ensino, a escolha de temas inovadores, como os exemplos das leis de Newton no contexto do *skateboarding*, do movimento do centro de massa no contexto do *grand jeté* e do lançamento oblíquo no contexto do basquete, nesse momento em que queremos validar esses recursos como potenciais para a alfabetização científica, não teriam impacto tão significativo quanto a queda dos corpos. Isso porque em nossa prática docente percebemos que temas relacionados ao cotidiano, que quebram paradigmas curriculares de ensino, por si só envolvem os alunos no processo de ensino aprendizagem, motivando-os em aprender com a investigação permitida pelos recursos. Assim, a queda dos corpos foi uma escolha que nos permitiu um controle

sobre a pesquisa, uma vez que esse assunto é abordado em diversos contextos de ensino e os resultados para a aprendizagem não são satisfatórios. Ou seja, queremos investigar os potenciais das imagens estroboscópicas e da videoanálise para a alfabetização científica num tema tradicional, sobre o qual as pessoas, mesmo após estudá-lo formalmente, levam consigo conceitos divergentes daqueles cientificamente aceitos.

A intervenção foi realizada durante o tempo regular de aula, composto por dois períodos consecutivos de 50 minutos, no contexto formal de escolarização dos alunos envolvidos na pesquisa. Em sala de aula a turma foi dividida em seis grupos de até seis integrantes. O professor apresentou a situação problema e, a partir desse instante, as interações discursivas entre os alunos nos grupos foram registradas em áudio com gravadores digitais, para a posterior transcrição das falas e busca por indicadores de alfabetização científica.

As etapas da intervenção anteriormente planejadas estão delineadas no quadro 3. Como destacaremos ao longo das análises seguintes, o planejamento foi importante para a reflexão docente acerca da intervenção didática de investigação baseada em vídeo a ser promovida em sala de aula. Porém, *in loco*, a *práxis* dos alunos acabou por demandar uma maior liberdade entre os limites das diferentes etapas planejadas, resultando numa não linearidade no cumprimento dessas etapas, o que, concluímos, ter sido inerente a um processo de aprendizagem por investigação, como proposto para esta pesquisa.

Quadro 3 – delineamento das etapas da intervenção didática na qual foram coletados os dados

Etapa	Objetivo	Ações
1	Ganhar a atenção da turma	Organização dos grupos, apresentação do tema de estudo e exibição do material
2	Proposta do estudo da queda de duas esferas de massas e diâmetros diferentes, quando abandonadas de uma mesma altura e num mesmo instante	Prever: os grupos discutem e formulam as suas previsões baseadas no que eles acham que vai acontecer.
		Observar: o professor reproduz o vídeo quantas vezes forem necessárias para que os alunos registrem as suas observações; os alunos comparam as suas previsões com a observação do vídeo; o professor exhibe a Imagem Estroboscópica a fim de enriquecer a observação dos alunos.
		Explicação: os alunos formulam suas explicações por escrito, primeiro na forma qualitativa e depois, se conveniente, na forma quantitativa.
3	Sistematização do conhecimento	Cada grupo lê a sua explicação para a turma

4	Proposta de substituição da esfera pequena da etapa 2 por uma ainda menor; estudo da queda dessas esferas	Prever: os grupos discutem e formulam as suas previsões baseadas no que eles acham que vai acontecer.
		Observar: o professor reproduz o vídeo para que os alunos registrem as suas observações, quantas vezes forem necessárias; os alunos comparam as suas previsões com a observação do vídeo; o professor exhibe a Imagem Estroboscópica a fim de enriquecer a observação dos alunos.
		Explicação: os alunos formulam suas explicações por escrito, primeiro na forma qualitativa e depois, se conveniente, na forma quantitativa.
5	Sistematização do conhecimento	Cada grupo lê a sua explicação para a turma e o professor exhibe o terceiro vídeo.
6	Finalização	Discussão em grande grupo sobre os resultados obtidos; dá-se a conciliação das ideias e a escrita da interpretação do fenômeno pelos alunos, usando linguagem científica.

Foram três proposições de problemas feitas pelo professor, nas quais três esferas de massas e diâmetros diferentes seriam abandonadas aos pares, no mesmo instante de uma mesma altura, proposições essas feitas com auxílio da exibição do material em imagens projetadas, como a da figura 26. A queda do primeiro par de esferas foi relacionada à Etapa 2 do quadro 3, a queda do segundo par à Etapa 4 e a do terceiro par à Etapa 5.

A coleta de dados gerou seis arquivos de áudio, um para cada grupo, com cerca de duas horas de diálogos cada. Os áudios foram auscultados e um dos grupos, escolhido aleatoriamente, teve seus diálogos transcritos para servirem de dados para a pesquisa. A transcrição integral dos diálogos dos alunos do grupo durante a intervenção está colocada no Apêndice A, juntamente aos indicadores de alfabetização científica presentes nas falas.

### **5.2.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES: PROPOSTA DE INVESTIGAÇÃO DA QUEDA DO PRIMEIRO PAR DE ESFERAS**

Após a organização dos alunos em grupo, apresentação do tema de estudo e a exibição do material, o professor propôs o estudo da queda do primeiro par de esferas. A seguir apresentamos a proposição do problema de investigação, a transcrição dos episódios de ensino que surgiram nas interações discursivas dos alunos e os indicadores de alfabetização científica durante a construção argumentativa do conhecimento.

## PROPOSIÇÃO 1

*Duas esferas de tamanhos diferentes, uma pequena com diâmetro 2,4 cm e massa 20 g e outra maior com diâmetro 3,4 cm e massa 237,5 g (fig. 26a), serão abandonadas de uma mesma altura no mesmo instante, conforme a imagem projetada (fig. 26b). Como podemos comparar os movimentos das duas esferas?*

---

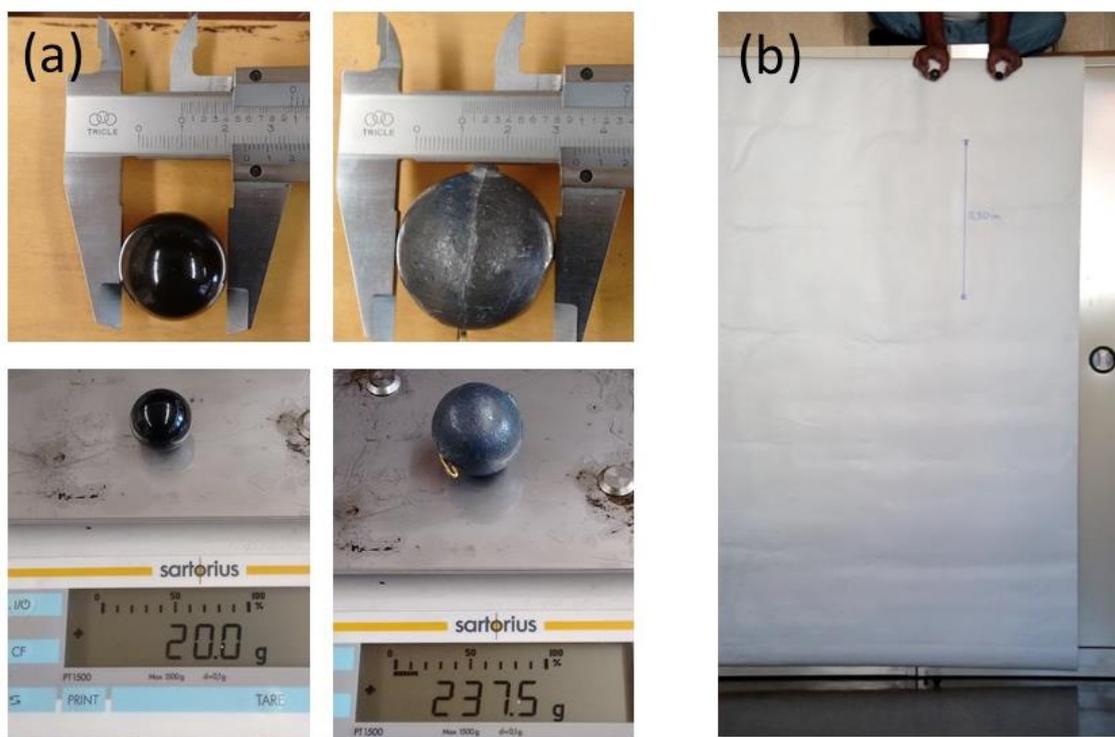


Figura 26: As imagens foram utilizadas para auxiliar a descrição da atividade para os alunos: 26a - informações de massa e diâmetro para caracterizar as diferenças entre as esferas; 26b - cenário com o local de onde foi gravado o vídeo do movimento das esferas em queda.

O quadro 4 mostra a transcrição do episódio inicial de ensino do grupo escolhido.

Quadro 4: transcrição do episódio inicial de ensino

Turno	Fala	Descrição	Indicador de AC
18	Lays: Abandonando simultaneamente as duas esferas...	A aluna abandona um frasco de cola escolar branca e sua tampa, num mesmo instante, a fim de reproduzir a queda de dois corpos diferentes.	-Levantamento de hipóteses -Teste de hipóteses

19	Carla: Não gente, eu sei que vão cair os dois [ <i>ao mesmo tempo</i> ]	A aluna utiliza conhecimentos anteriores de que a massa não influi na queda dos corpos	-Levantamento de hipóteses
20	Lays: Porém ó! Abandonando simultaneamente as duas esferas como podemos comparar os movimentos de cada uma...	A aluna reproduz novamente a queda dos dois corpos e verifica que caem ao mesmo tempo	-Teste de hipóteses
21	Marcos: A esfera mais pesada vai chegar primeiro.	O aluno traz para o grupo a concepção de que corpos mais pesados caem mais rapidamente do que corpos mais leves	-Levantamento de hipóteses -Raciocínio proporcional
22	Lays: Ó, vou soltar.		-Teste de hipóteses
23	Marcos: o que eu falei que a mais pesada vai cair primeiro.	O aluno chama a atenção do grupo para a queda das esferas proposta pelo professor, descartando a possibilidade da queda da cola e da sua tampa ser um fenômeno análogo	-Levantamento de hipóteses -Raciocínio proporcional

A partir das falas transcritas e analisadas nesse primeiro episódio de ensino, quando os alunos são solicitados formular previsões e/ou levantamento de hipóteses, obtemos dois resultados importantes para a pesquisa: a quantidade substancial de indicadores de alfabetização científica e a valorização dos conhecimentos prévios para o processo de aprendizagem.

Conforme confirmamos no quadro 4, em todos os turnos desse episódio houve presença de Indicadores de Alfabetização Científica relacionados tanto ao entendimento da situação analisada (levantamento e teste de hipóteses) quanto à estruturação do pensamento (raciocínio proporcional). A presença desses indicadores nos mostra que o processo de alfabetização científica iniciou na fase em que os alunos foram solicitados a *dizer o que pensam* sobre a queda das esferas.

Também confirmamos a presença de conhecimentos prévios nas falas transcritas. Quando Carla diz no turno 19 “eu sei que vão cair os dois” percebemos um conhecimento prévio escolarizado de que, em queda livre, a massa do corpo não influi no movimento. Por outro lado, quando Marcos, no turno 21, diz “a esfera mais pesada vai chegar primeiro” fica evidente a presença da concepção alternativa de que a massa influi em todo movimento de queda. Nos turnos seguintes verificamos que as

interações discursivas se darão em boa parte para tentar corroborar uma dessas duas hipóteses.

Os dois resultados mostram um envolvimento dos alunos no processo de investigação do fenômeno, fator importante para a construção dialógica do conhecimento científico, cuja meta é permitir a alfabetização científica, o aprender a “falar ciência”. Assim confirmamos que, nessa fase inicial da metodologia de ensino por investigação que desenvolvemos, há espaço para reflexões sobre a natureza a partir do conhecimento prévio que o aluno traz consigo das experiências vividas anteriormente.

Tanto a presença dos indicadores de alfabetização científica quanto a valorização dos conhecimentos prévios colaboraram para a afetividade dos alunos na solução do problema proposto, como confirmaremos nos próximos episódios de ensino transcritos. Essa dimensão afetiva é importante para a aprendizagem em ciências e se configura como uma meta para a alfabetização científica. Conforme colocaram Sasseron e Carvalho (2008), uma pessoa alfabetizada cientificamente aprecia as ciências e as tecnologias pela estimulação intelectual que elas suscitam, e o estímulo intelectual, como o próprio termo sugere, valoriza aquilo que o aluno sabe.

Por outro lado, como verificaremos nas transcrições do episódio de ensino a seguir, nessa etapa inicial os alunos não se limitaram à formulação de uma previsão, como lhes fora solicitado. Por se tratar de um fenômeno simples de ser reproduzido, eles abandonaram diversos objetos, no mesmo instante e de alturas iguais, e, a partir dessas observações eles concluíram que o tempo de queda seria o mesmo, como coloca Lays no turno 29. Além de extrapolar a previsão com a observação de diferentes corpos em queda, eles também buscaram explicação para sua previsão, conforme verificamos nos turnos 30, 31 e 32. Assim concluímos que a estratégia POE é uma boa opção para o planejamento docente, mas que ela não impõe limites para as interações discursivas entre os alunos.

Quadro 5: transcrição do segundo episódio de ensino

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
24	Lays: Ao mesmo tempo, ó. Quer que eu faça de novo?	Fundamentando sua previsão na observação de fenômeno semelhante.	-Teste de hipóteses
25	Lays: Independente do peso elas vão cair juntas.	Aluna faz uma generalização, o que indica seu conhecimento prévio sobre a queda livre	- Previsão

26	Carla: No mesmo tempo.		-Organização de informações -Previsão
27	Marcos: Caô, é verdade. Isso é... Acho que independente do tempo. Ele jogou dois bagulhos.		-Organização de informações
28	Carla: Independente do tempo.		-Explicação
29	Lays: Independente das massas dos objetos eles irão cair no mesmo momento.		-Explicação
30	Marcos: Isso aí é porque a gravidade...		-Justificativa
31	Lays: Porque a gravidade está atuando.		-Justificativa
32	Carla: Sobre os dois da mesma forma. Acho que são...	Refuta sua própria hipótese.	-Justificativa

Conforme perceberemos no episódio a seguir, a tentativa de generalização de que o tempo de queda independe das massas feita por Lays no turno 33 encaminha as interações discursivas para uma explicação que considerasse a resistência do ar. Isso porque a aluna sugere abandonar um telefone celular e uma folha de caderno e logo os colegas discutem sobre o que se deve desconsiderar no movimento de queda.

Quadro 6: transcrição do terceiro episódio de ensino

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
33	Lays: Por exemplo: um exemplo bem básico é uma folha e um celular.		-Levantamento de hipóteses
34	Marcos: A folha não vai cair.	Refuta a hipótese de Lays	-Levantamento de hipóteses
35	Carla: Não.		
36	Carlos: você não deu tempo, não deu distância, não deu nada...	Falta de dados para comprovarem as hipóteses	-Explicação
37	João: Gente, não dá distância		-Explicação
38	Lays: Viu?	Abandona a garrafa da cola e sua tampa, separadamente no mesmo instante da altura dos seus olhos.	-Teste de hipóteses
39	Carla: Gente, vai cair junto cara!	Se fundamentando na observação.	-Previsão
40	Lays: Vai cair junto.		-Previsão
41	Marcos: Se você colocar a folha aberta com o caderno... é, o caderno vai cair primeiro.	Refuta a generalização da Lays e Carla.	-Justificativa
42	Carla: Não.		-Previsão
43	Marcos: A folha, você não lembra da folha?		-Explicação

44	Lays: Gente, olha isso aqui!	Lays abandona novamente a cola e sua tampa.	-Teste de hipóteses
45	Lays: Agora é sério, ó...	Abandona novamente os dois objetos	-Teste de hipóteses
46	Marcos: Eu não vi não.	Refuta a observação da Lays. Para isso ele abandona uma série de objetos e uma folha destacada do seu caderno que cai lentamente.	-Organização de informações
47	Marcos: Então não usa esse exemplo. Tem atrito.	Resgate de conhecimentos prévios	-Levantamento de hipóteses
48	Carla: O que seria o atrito do ar?		- Classificação de informações
49	Carlos: O ar tem atrito?		- Classificação de informações
50	João: Resistência do ar. Não é atrito não.		- Classificação de informações

A tentativa de uma discussão que considerasse a resistência do ar foi descartada nos turnos 35, 36 e 37. Para isso os alunos se fundamentaram nas variáveis que foram informadas no problema, concluindo que não havia informação suficiente para uma análise mais aprofundada. Assim, no turno 44 Lays volta a abandonar dois objetos que caem juntos, mas Marcus insiste em discutir a queda de uma folha aberta e um caderno, dois objetos que, sabe ele, não caem juntos porque sofrem “atrito”. Logo a palavra atrito é substituída por “resistência”.

Mesmo com a insistência em se considerar a resistência do ar, o grupo formulou uma previsão fundamentada na observação de que os corpos abandonados por Lays atingiam o chão num mesmo instante. A formulação da previsão é transcrita no episódio de ensino a seguir:

Quadro 7: transcrição do quarto episódio de ensino

Turno	Fala	Descrição	Indicador de AC
51	Lays: Previsão: abandonando simultaneamente os dois objetos...	Tentativa de consenso para formulação da previsão	-Explicação
52	Carla: Independente da sua massa. Ou independente das massas dos dois objetos.		-Organização de informações
53	Lays: Vão cair, vão chegar ao chão no mesmo instante. Pois a força da gravidade atua...		-Organização de informações
54	João: Sobre os dois.		-Organização de informações
55	Lays: Sobre a massa.		-Organização de informações

56	Carla: Hã?	Refuta a afirmação de Lays	
57	Lays: A força da gravidade atua. Não atua? Sobre o movimento de queda dos dois objetos?		-Explicação -Atribuição de justificativa
58	Marcos: O que você acha?		
59	Lays: Sim, porque a gravidade atrai. Por isso que eles chegam ao mesmo instante.		-Raciocínio proporcional -Explicação

Percebemos no turno acima que os alunos não se limitaram apenas à formulação de uma previsão irreflexiva, uma vez que eles discutiram, ainda na fase da previsão, uma explicação que fundamentasse seus argumentos. Para isso trouxeram à tona, ainda que de forma incipiente, os conceitos de massa, força e gravitação. À partir da formulação da previsão o professor pode seguir com a próxima etapa da intervenção didática, que foi a exibição do vídeo e da imagem estroboscópica das esferas em queda.

### **5.2.2. OBSERVAÇÃO E FORMULAÇÃO DA EXPLICAÇÃO DO FENÔMENO A PARTIR DO VÍDEO E DA IMAGEM ESTROBOSCÓPICA**

Nesta subseção fazemos a transcrição e a análise dos episódios de ensino das etapas de observação e explanação da queda das esferas. É importante destacar que para a observação foi produzido um vídeo no qual uma pessoa abandona, aparentemente de forma simultânea, as duas esferas de uma mesma altura. De fato, a observação da queda, a partir do vídeo sendo reproduzido em tempo real, mostra essa condição, o que faz com que as esferas cheguem ao chão no mesmo instante. Porém, como a captura de vídeo ocorreu a uma taxa de 60 frames por segundo, detalhes imperceptíveis na reprodução em tempo real se tornam aparentes na imagem estroboscópica, nesse caso, que a esfera de menor diâmetro e menor massa atingiu o solo primeiro.

Esse fato foi, por nós, verificado na fase de planejamento da intervenção didática e, mesmo se tratando de um possível fator complicador, nossa escolha foi manter o resultado que, aparentemente, produziria uma divergência entre o observado no vídeo e o observado na imagem estroboscópica. Caso nosso objetivo fosse simplesmente ensinar que nem sempre as massas diferentes caem em tempos diferentes essa divergência poderia ser um problema e, assim, substituiríamos o vídeo

por um outro com maior controle como, por exemplo, com a mecanização do abandono das esferas. Porém, como estamos interessados no processo de alfabetização científica, concluímos que essa aparente divergência entre o que se vê no vídeo e na imagem estroboscópica poderia enriquecer o processo.

---

Como perceberemos no próximo episódio de ensino, as discussões se encaminharam em torno dos fatores que influenciam uma experimentação, tal como a forma como ela foi planejada, os recursos com os quais se observa o fenômeno e o fato de que, problemas reais, estão sujeitos a diversas interferências que precisam ser avaliadas no sentido de considera-las ou não, assim como foi feito pelos alunos na subseção anterior sobre a interferência da resistência do ar. A imagem estroboscópica da queda está representada na figura 27. No quadro 8 está a transcrição do quinto episódio de ensino para o mesmo grupo de alunos.

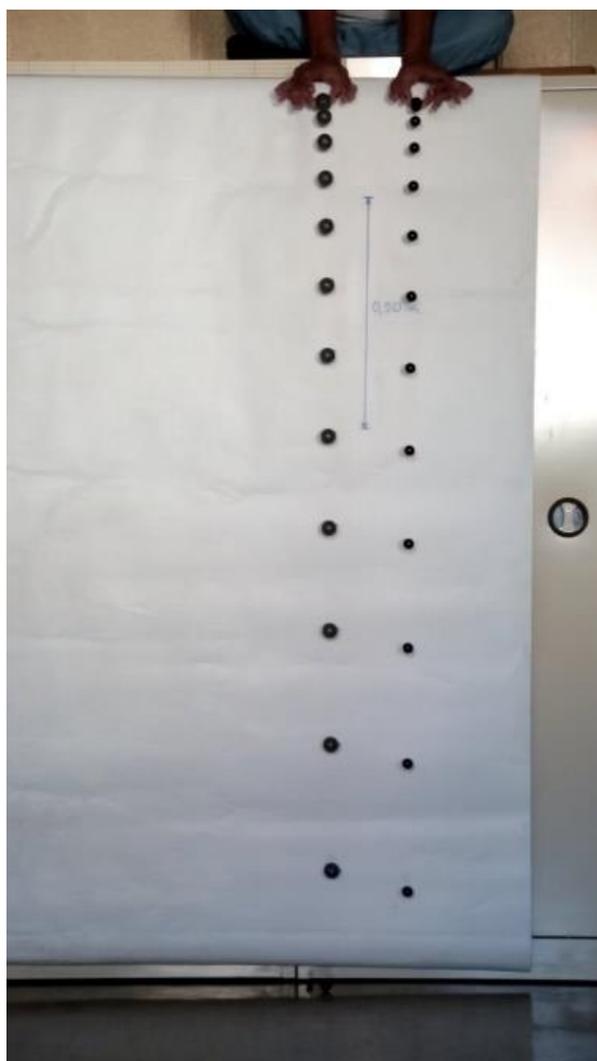


Figura 27: Imagem Estroboscópica da queda das duas esferas de massas e diâmetros diferentes, abandonadas por uma pessoa, atingindo o solo em instantes diferentes.

Quadro 8 – Transcrição do quinto episódio de ensino

Turno	Fala	Descrição	Indicador de AC
64	Lays: Gente, presta atenção: quando a gente assiste ao vídeo, a gente acha que os dois caem no mesmo intervalo de tempo. Pela foto Estroboscópica a gente percebe que a bolinha de menor massa, ela alcança primeiro o chão. E aí, o que a gente coloca? Isso?	A aluna reflete sobre como descrever a observação, se com o resultado do vídeo ou da Imagem estroboscópica.	-Organização de informações -Serição de informações
65	Carla: Será que ele não soltou a bolinha primeiro? Porque esses erros acontecem.	Carla levanta a hipótese da não simultaneidade do abandono das esferas pelo professor.	-Levantamento de hipóteses

	Senão você veria as duas caírem ao mesmo tempo no chão.		-Organização de informações
66	Lays: Professor!	Lays recorre ao professor.	
67	João: Depende né? Do atrito.	João introduz a ideia de uma nova variável influir no movimento das bolas.	-Justificativa
68	Carla: É verdade. Mas assim seria a bolinha mais pesada chegar mais rápido.		-Justificativa -Explicação -Raciocínio proporcional

Nesse episódio os alunos iniciam uma discussão sobre a validade dos resultados obtidos com o vídeo e a imagem estroboscópica. No turno 64 Lays se depara com uma observação que contrapõe seu conhecimento prévio. Trata-se de um confronto entre o que ela achava que aconteceria e o que é observado. Essa dicotomia fez com que surgissem duas explicações: no turno 65 Carla chama atenção para o fato de que o professor poderia ter abandonado as esferas em instantes ligeiramente diferentes, o que seria imperceptível a partir do vídeo, mas revelado na imagem estroboscópica; e, no turno 67, João considera a hipótese de as esferas estarem interagindo com o ar, trazendo para a discussão, novamente, a possibilidade da influência da resistência do ar sobre as esferas. Novamente Carla refuta a proposta de resistência do ar no turno 68. Vale ressaltar que a sugestão da não simultaneidade no abandono (turno 65) e a consideração da resistência do ar na queda (turno 67) são consequências da observação da imagem estroboscópica, não da observação do vídeo, o que mostra o potencial desse recurso para a investigação mais pormenorizada dos movimentos. Como perceberemos nas transcrições dos próximos episódios de ensino, as discussões durante a investigação foram no sentido de corroborar uma das duas hipóteses, a não simultaneidade e/ou a resistência do ar.

De uma maneira geral a observação refutou as previsões de todos os grupos, o que enriqueceu as interações para formulação de uma explanação para o observado. Foi preciso reproduzir outras vezes o vídeo, fazer medidas na fotografia projetada na tela, consultar o livro didático, levantar novas hipóteses, testá-las, construir argumentos, formular, reformular, etc. A sala de aula se transformou num ambiente interativo, colaborativo e investigativo (*minds-on, hands-on, hearts-on e social-on*). A seguir apresentamos a transcrição de um episódio de ensino desta fase da

intervenção.

Quadro 9: Transcrição do terceiro episódio de ensino

Turno	Fala	Descrição	Indicador de AC
71	Marcos: Quanto mais leve o corpo, mais rápido chega?	O aluno se depara com uma observação que contrapõe seu conhecimento prévio	-Levantamento de hipóteses
72	João: Quanto menos atrito mais rápido chega.	Observando a Imagem Estroboscópica João descarta a possibilidade de que a resistência do ar dependa apenas da massa, fazendo uma generalização.	-Classificação de informação -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional -Justificativa
73	Lays: Mas é a resistência do ar.	Lays corrige o termo atrito usado pelos colegas. Não associa o atrito à resistência do ar.	-Explicação
74	João: Sim, resistência do ar. Eu cismo que é atrito.	João evidencia pouca confiança no uso dos termos resistência do ar ou atrito; contudo sabe que se trata de uma força contrária ao movimento do corpo no ar.	-Classificação de informação
75	Lays: Gente, deixa a Carla falar.		
76	Carla: Se fosse a resistência do ar a bolinha grande ia chegar mais rápido.	Carla utiliza um raciocínio de proporcionalidade inversas entre a resistência do ar e as dimensões das esferas. Não fica claro se ela estabelece uma relação com as massas das bolas.	-Organização de informações -Previsão -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional
77	João: Quanto maior o corpo maior a resistência do ar.	Refuta a Carla com raciocínio proporcional a partir da observação da Imagem Estroboscópica, considerando as dimensões da esfera e desconsiderando as massas.	-Organização de informações -Previsão -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional

Como dito anteriormente, no planejamento da intervenção didática o professor não considerou a resistência do ar um fator importante. Por isso percebemos a partir dos dados do quadro 9 que o pouco controle sobre as variáveis no experimento dificultou aos alunos a formulação de uma explicação que considerasse a resistência

do ar sobre o movimento. Nesta altura da intervenção haviam duas dicotomias: uma em relação às observações no vídeo onde as esferas eram vistas caírem juntas, e na imagem estroboscópica que registrou quedas em tempos diferentes, e outra em relação à não simultaneidade no abandono/influência da resistência do ar nos movimentos. Isso fez com que Lays recorresse à presença do professor, cuja intervenção está registrada no episódio de ensino do quadro 10.

Quadro 10 – Quarto episódio: transcrição da interação entre alunos e professor

Turno	Fala	Descrição	Indicador de AC
84	Lays: O que a gente está querendo saber é o que está atuando: se é só a gravidade ou se tem a resistência do ar. Quando o vídeo passa a gente acha que as duas bolinhas alcançam o chão no mesmo intervalo de tempo. E na foto está mostrando que a bolinha de menor massa atinge o chão primeiro.	Aqui surge a necessidade de delimitação do fenômeno da queda. Isso porque a Imagem Estroboscópica revelou detalhes que não foram perceptíveis no vídeo.	-Seriação de informações -Organização de informações -Levantamento de hipóteses -Justificativa -Previsão -Explicação
85	Professor: Então por isso vocês não chegaram num consenso?		
86	Lays: Não, é que a gente chegou nesse consenso, que pelo vídeo mostra uma coisa e pela foto tá mostrando outra. Então a gente não sabe qual que está correta.	A aluna explica o porquê da dificuldade em formular uma explanação. Ela não sabe se formula a explanação fundamentada no vídeo ou na imagem estroboscópica.	-Organização de informações -Explicação
87	Professor: Por que será que no vídeo a gente não percebe que a menor cai primeiro?	Nessa hora o professor induz uma confiabilidade maior para a IE	
88	Lays: Porque o intervalo de tempo é bem curto, quase insignificante.	A aluna pensa na possibilidade de desconsiderar o pequeno intervalo de tempo entre as duas chegarem ao chão.	-Levantamento de hipóteses -Justificativa -Explicação
89	Professor: Então é porque o movimento é muito rápido e nossos olhos não conseguem perceber?	Professor justifica porque a IE é melhor para observar o movimento.	
90	Lays: Sim, não conseguimos.		Organização de informações
91	Professor: E a partir da Imagem Estroboscópica a gente tem uma...	Professor dá pausa para que os alunos formulem suas conclusões.	

92	Lays: Detalhe.	A aluna conclui.	-Explicação
93	Professor: A gente vê mais detalhes.	Confirmação da fala da aluna.	

Na interação dos alunos com o professor percebemos uma predominância de indicadores associados à necessidade de entendimento da situação analisada (SASSERON; CARVALHO, 2008). Sem uma definição sobre qual recurso eles utilizariam para a formulação de uma explicação, se o vídeo ou a IE, ficou impossível prosseguir. Por isso, entre os turnos 94 e 119 do episódio de ensino a seguir, as interações entre o docente e o grupo de alunos se deu no sentido de que os alunos concluíssem a partir de qual instrumento observacional eles deveriam formular suas explicações. Isso porque o resultado evidenciado pela imagem divergia de todas as previsões. No quadro 11 abaixo percebemos que as interações discursivas ocorrem no sentido de validar o observável no vídeo e/ou na imagem estroboscópica.

Quadro 11 – Quinto episódio de ensino: vídeo ou imagem estroboscópica?

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
94	Carlos: A gente não vê exatamente o que acontece. A gente vê uma coisa meio atrasada.	Efeitos de deley na reprodução do vídeo.	-Explicação -Organização de informações
95	Professor: Quando o vídeo está rodando?		
96	Lays: Sim.		-Organização de informações
97	Professor: Pois é, então nesse caso o que é melhor você observar, o vídeo ou a imagem?		
98	Lays: A imagem Estroboscópica.		-Classificação de informações
99	Professor: Então que informação é mais confiável?		
100	Lays: A Imagem Estroboscópica.		-Organização de informação
101	Professor: Então, o que vocês estão vendo ali? Muitas vezes não é o que a gente queria ver, ou o que a gente achou que fosse, mas é o que está aí.		
102	Lays: Ah, agora eu entendi.		-Explicação

103	Professor: Assim é a natureza. Muitas vezes ela é de uma forma que a gente não gostaria que ela fosse.		
104	Lays: Mas isso vai acontecer com todos os corpos?	Tentativa de formulação de uma lei geral.	-Organização de informações
105	Professor: Vamos ver os próximos vídeos.		
106	Lays: Mas no caso tem a resistência do ar atuando, não tem?		-Levantamento de hipóteses
107	Professor: Não sei, se você quiser considerar tudo bem.		
108	Lays: Sim, porque a gravidade, ela não vai mudar. Mas a resistência do ar ela pode mudar de acordo com a massa.		-Organização de informação -Explicação -Justificativa
109	Professor: Sim.		
110	Lays: Então eu acho que é por isso que elas alcançam em intervalos de tempo diferentes.		-Classificação de informações
111	Professor: Vocês já pensaram na possibilidade de o professor ter abandonado uma depois da outra?	Essa hipótese já havia sido levantada por Carla no turno 65.	
112	Lays: Exatamente. É isso que a gente está achando.		-Explicação
113	Professor: Vamos ver os outros vídeos.		
114	Carla: Professor, o que eu aprendi é que dois corpos, independente da sua massa, chegariam ao mesmo tempo, desprezando a resistência do ar.		-Organização de informações -Explicação -Justificativa
115	Professor: Aí sim, desprezando...		
116	Lays: Desprezando...		
117	Carlos: No vácuo eles chegariam. Uma folha e uma tonelada sim. É isso que eu estou querendo dizer, que tem a resistência do ar atuando sobre os corpos.		-Classificação de informações -Levantamento de hipóteses -Explicação -Justificativa
118	Professor: A gente pode esclarecer essas dúvidas que vocês estão tendo com um outro vídeo. Vou passar o outro vídeo.	Professor se afasta do grupo para iniciar a reprodução do segundo vídeo.	
119	Lays: Caraca, foi muita coisa que a gente falou!	Nessa hora o grupo, liderado por Lays, formulam por escrito uma explicação para o observado.	-Classificação de informações

Com a intervenção do professor no quinto episódio de ensino ficou definido que a imagem estroboscópica oferecia, neste caso, mais informações sobre o movimento

do que o vídeo da queda. Porém, como nessa imagem a observação divergiu das previsões, ainda não havia um consenso sobre o porquê de a menor esfera ter atingido o chão primeiro, o que continuou como objeto de discussão ao longo da segunda proposição, como verificaremos a seguir.

### 5.2.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES: A PROPOSIÇÃO 2 E A BUSCA POR GENERALIDADES

---

Após o término da interação discursiva entre o professor e o grupo, transcrita no episódio de ensino anterior, o professor propôs uma nova atividade para a turma na qual a esfera pequena da primeira atividade ( $d_1 = 2,4$  cm e  $m_1 = 20$  g) seria substituída por uma menor ainda ( $d_2 = 1,6$  cm e  $m_2 = 5,4$  g). Vamos, a seguir, apresentar os resultados da segunda atividade.

#### Proposição 2

*Na atividade 2 serão abandonadas duas esferas, uma de massa 5,4 g e diâmetro 1,6 cm, junto uma grande de diâmetro 3,4 cm e massa 273 g. Solicito que vocês façam suas previsões sobre o movimento das esferas.*

No quadro 12 está a transcrição de um trecho da formulação da nova previsão.

Quadro 12 – sexto episódio de ensino

Turno	Fala	Descrição	Indicador de AC
121	Lays: Cara, a previsão é a mesma.	A aluna se refere ao que ocorreu na atividade 1, ou seja, que a menor esfera cairia primeiro.	-Levantamento de hipóteses
122	Marcos: Quem é mesma?	O aluno tenta compreender onde está a diferença entre a atividade 1 e a 2.	-Classificação de informações
123	João: Cara, massa $m_P$ é da pequena e $m_G$ da grande.	O aluno explica que a esfera média da atividade anterior foi substituída por uma esfera pequena.	-Serição de informações

124	Marcos: Que isso, cara! A diferença de uma massa <i>pra</i> outra é muito grande!	O aluno refuta a previsão de Lays em função do aumento considerável na diferença entre as massas e os diâmetros das esferas.	-Classificação de informações
125	Carla: Cara, eu continuo achando que a previsão é a mesma.	A aluna refere à previsão que ela havia feito para a atividade 1, que ambas cairiam juntas (turno 19).	-Levantamento de hipóteses
126	Marcos: Incluindo a resistência do ar eu acho que a pesada chega mais rápido.	Marcos sustenta a hipótese aristotélica que corpos pesados caem mais rapidamente que corpos leves.	-Organização de informações -Levantamento de hipóteses
127	Carlos: Não porque, no caso, a gente não tem essa informação.		-Organização de informações
128	Marcos: Então, é só a previsão.	O aluno atenta para o fato de que eles estão formulando uma previsão, quando podem livremente dizer o que eles acham que ocorrerá	-Classificação de informações

Os dados transcritos no quadro 12 mostram que as previsões dos alunos para a segunda atividade foram semelhantes às previsões da primeira atividade, ou seja, por um lado previsões considerando a não simultaneidade no abandono e, por outro lado, previsões considerando a resistência do ar. Porém, no turno 127 o aluno Carlos se manifesta, e sua fala coloca que o experimento não permite que eles tenham informações para considerar a resistência do ar. Tudo indica que seu intuito foi delimitar a observação, pois saber o que se considerar numa observação é tão importante quanto saber o que se deve desconsiderar.

Na sequência, o professor exibiu o vídeo com a queda das esferas e, assim como na Proposição 1, a observação feita a partir do vídeo indicou que as esferas atingiram o chão no mesmo instante. A imagem estroboscópica exibida (figura 28), diferentemente das quedas na atividade anterior, mostrou que nesse caso as esferas tiveram movimentos bastante parecidos. Vale destacar que nessa etapa da intervenção, mais uma vez, a observação e a explanação ocorreram juntas, o que confirma nossa conclusão de que a metodologia POE é uma boa opção para o planejamento docente, mas que, com o envolvimento dos alunos no processo, com a liberdade de aprender, não é interessante que esperemos limites para atividades mentais de aprendizagem.

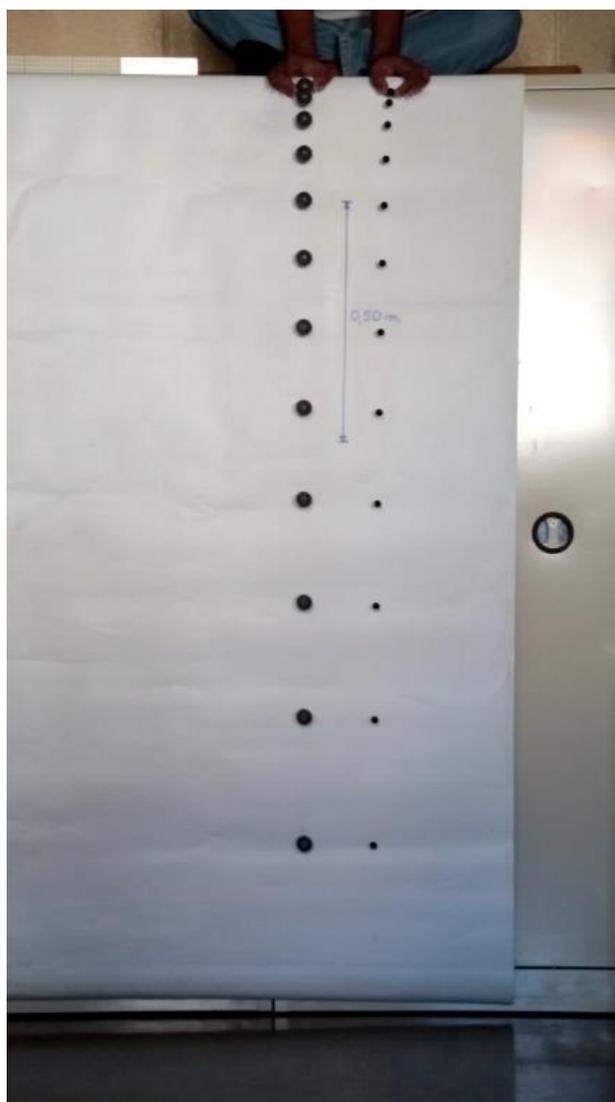


Figura 28 – Imagem estroboscópica da queda de duas esferas com diâmetros e massas diferentes, atingindo o solo praticamente num mesmo instante.

As diferenças nos comportamentos dos movimentos de queda das esferas nas atividades 1 e 2 se configuraram como um novo dado para a hipótese da não simultaneidade do abandono na primeira atividade citada por Carla no turno 65 do quadro 8, mas agora essa possibilidade foi colocada por Lays no turno 146 do quadro 13. Perceberemos no sétimo episódio de ensino, a seguir, que essa aluna busca corroborar as duas hipóteses levantadas no grupo, a de que não houve simultaneidade no abandono e a de que existe resistência do ar. É importante ressaltar que em nenhum momento essa aluna manifestou algum conhecimento prévio sobre a queda dos corpos. Sua interação com o grupo iniciou empiricamente (turnos 18, 20 e 22 do quadro 4). No turno 64 do quadro 8 a aluna questionou as diferentes observações sobre os movimentos na atividade 1 em relação ao que se via no vídeo

e na imagem estroboscópica, quando recorreu ao professor. Uma vez que a intervenção docente nos turnos 85, 87 e 89 do quadro 10 a fez reconhecer que na imagem estroboscópica há mais “riqueza de detalhes” (turno 92, quadro 10), Lays previu a partir do único controle disponível no experimento (o fato das duas atividades terem sido realizadas no mesmo local) que a esfera menor cairia primeiro assim como na atividade 1 (turno 121, quadro 12). Porém sua previsão não se confirmou na etapa da observação.

Por outro lado, à exceção de Carla e Carlos, João e Marcos ainda consideravam os efeitos da resistência do ar sobre os movimentos. No turno 144 do quadro 13 Lays chama a atenção do grupo para a necessidade de considerar ou não a resistência do ar e, a partir daí ela e Carla discutem acerca de desprezar ou não tal efeito. Na opinião dela tal efeito somente pode ser desprezado no vácuo (turno 146). Assim, após a interação com Carla, Lays conclui que, ainda que se considere a resistência do ar, essa interação estaria controlada nas duas atividades e as esferas deveriam ter comportamentos semelhantes. Por fim, no turno 148 ela conclui seu argumento que não houve simultaneidade no abandono das esferas na atividade 1, mas que existe uma resistência do ar atuando nas esferas.

Até aqui a análise dos dados mostra um envolvimento dos alunos na solução de problemas resultantes de uma situação real, e que deixou de ser apenas a queda dos corpos, pois passou a envolver a forma como os corpos foram abandonados e os recursos utilizados para a observação dos movimentos. A presença dos indicadores de alfabetização científica mostra que o conhecimento científico está sendo construído, e essa construção ocorre entre os pares, ou seja, socialmente (BASSOLI, 2014), em que alunos com níveis de conhecimentos diferentes, num mesmo grupo, interagem para a solução de um problema proposto (DRIVER, 1999).

Quadro 13 – sétimo episódio de ensino

Turno	Fala	Descrição	Indicador de AC
144	Lays: Mas aí eu quero saber, tem ou não resistência? Cara, tem que ter alguma diferença. As duas [ <i>experiências</i> ] foram feitas no mesmo lugar!	A aluna busca organizar a discussão junto ao grupo	-Organização de informações -Levantamento de hipóteses -Justificativa

145	Carla: Cara, olha só, despreza a resistência do ar.	Carla tenta simplificar a situação experimental, para ser mais fácil aplicar um modelo físico.	-Levantamento de hipóteses -Justificativa -Previsão -Explicação
146	Lays: Não, não tem como desprezar a resistência do ar. Como? Só se for no vácuo! Eu acho que ele soltou a primeira bolinha em instantes diferentes. No primeiro vídeo. A bolinha foi solta em instante diferente.	Lays apercebe-se que não pode simplificar a situação experimental e propõe uma explicação para a atividade 1.	-Organização de informações -Raciocínio lógico -Levantamento de hipóteses -Explicação -Justificativa
147	Carla: Por quê?		
148	Lays: As duas experiências foram feitas no mesmo local, com resistência do ar, porque se não fosse a resistência do ar seria no vácuo. Tem a força da gravidade atuando e chegaram no mesmo intervalo de tempo. Então ele soltou a bolinha no primeiro vídeo antes.	Lays compara as condições das duas atividades e projeta uma explicação global para o observado.	-Classificação de informações -Teste de hipóteses -Explicação -Justificativa -Previsão -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional

Nessa altura da intervenção a explicação enunciada por Lays, porta-voz do grupo, para o fenômeno no turno 148 considerava tanto a não simultaneidade no abandono quanto a possibilidade de a resistência do ar existir, mas atuar igualmente em todos os corpos.

#### **5.2.4. A FORMALIZAÇÃO DO CONHECIMENTO**

---

Conforme delineado no planejamento da intervenção didática de investigação baseada em vídeo (quadro 3), apresentamos nesta subseção os resultados referentes às etapas 5 e 6, cujos objetivos são a sistematização do conhecimento e a finalização da atividade, com ações relacionadas à exposição das conclusões dos grupos e a interpretação fenomenológica com linguagem científica.

Na transcrição do oitavo episódio de ensino (quadro 14) verificamos que a orientação docente foi no sentido de os alunos sugerirem uma forma de confirmar o

argumento da Lays no turno 148. Os alunos utilizaram a própria imagem estroboscópica para defender o argumento e, no turno 157 do quadro 14, Lays sugere que as posições variam analogamente nas duas trajetórias. No turno 161, Bianca, em sua primeira interação com o grupo, observa a equivalência entre as distâncias percorridas em cada intervalo de tempo pelas duas esferas na atividade 1, e indica uma forma de comprovar essa observação a partir da medição com a régua (medição feita na imagem projetada pelo Datashow), corroborando a sugestão de Lays, o que levou Carla a confirmar no turno 162 sua previsão inicial que as esferas não foram abandonadas simultaneamente.

Quadro 14 – oitavo episódio de ensino

Turno	Fala	Descrição	Indicador de AC
156	Professor: Existe alguma forma de comprovar nessa primeira fotografia que eu não consegui abandoná-las simultaneamente?		
157	Lays: Posição?		-Levantamento de hipóteses
158	Professor: Pelas distâncias?		
159	Lays: Sim.		-Classificação de informações
160	Professor: Você quer dizer essas distâncias?	Professor aponta para as distâncias percorridas em intervalos de tempo correspondentes.	
161	Bianca: Não, assim oh! Você vê que os espaços vão aumentando gradativamente. Tanto da direita quanto da esquerda. São iguais. Daí você percebe que...	Aluna vai à tela de projeção e indica que as distâncias percorridas em intervalos de tempo correspondentes ao movimento da esfera menor (da direita) são equivalentes ao da esfera maior (da esquerda).	-Organização de informações -Teste de hipóteses -Explicação -Justificativa -Previsão -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional
162	Carla: Você soltou uma primeiro que a outra.	Prova baseada em dados.	-Explicação

Porém, como verificaremos no nono episódio de ensino, um fator novo colocado

por Cristiano no turno 164 trouxe à discussão uma observação relacionada às diferenças nos diâmetros das esferas. Essa observação poderia seguir no sentido de ser necessária uma discussão acerca do conceito de centro de massa, mas como no turno seguinte (165) Lays não prosseguiu com a discussão, os alunos concluíram que, pela simetria nos acréscimos das distâncias percorridas nos deslocamentos em intervalos de tempo correspondentes (168), a massa não influía no movimento e o professor não havia sido simultâneo no abandono.

A fim de permitir, mais uma vez, uma observação que corroborasse ou refutasse a conclusão apresentada nessa etapa, o professor propôs a exibição de um terceiro vídeo, quando são abandonadas a esfera média da atividade 1 (diâmetro 2,4 cm e massa 20 g) com a esfera pequena da atividade 2 (diâmetro 1,6 cm e massa 5,4 g), o que os alunos acharam ser desnecessário porque ocorreria “a mesma coisa” (turno 174).

Quadro 15 – nono episódio de ensino

Turno	Fala	Descrição	Indicador de AC
163	Professor: Olhem, o Cristiano está fazendo uma consideração importante aqui.		
164	Cristiano: Temos que levar em consideração que como as esferas são uma maior do que a outra, logicamente os espaços serão um pouco menores.		-Organização de informações -Justificativa
165	Lays: Sim, mas se você for observar no segundo vídeo isso acontece. As esferas têm massas diferentes, mas elas estão no mesmo instante. Então acho que não aplica.	Larissa refuta Cristiano.	-Explicação -Teste de hipóteses
166	Professor: Alguém quer falar mais alguma coisa?		
167	Professor: Então vocês concluíram que aqui o professor não foi simultâneo. E como comprovar que nessa outra aqui o professor foi simultâneo?		
168	Bianca: Pela simetria?		-Explicação
169	Professor: Ok, então vamos para a atividade 3. Agora nós vamos abandonar a esfera pequena e a média. Vocês querem fazer uma previsão de		

	como será o movimento delas?		
170	Lays: Não.		-Previsão
171	João: Por que não?		
172	Lays: Porque não vai mudar nada!		-Explicação
173	Professor: Turma, quem quer dizer alguma coisa sobre a queda dos corpos?		
174	Carlos: Vai acontecer a mesma coisa.	Tentativa de generalização	-Previsão

Na sequência de apresentação das conclusões dos grupos para a turma, entrou espontaneamente em cena um outro aspecto interessante da cultura científica: a tentativa de generalização do que foi observado nas atividades. No turno 175 do quadro 16 a palavra “lei” foi utilizada pela primeira vez durante toda a intervenção. A tentativa de formulação da “lei” é feita sem uma intervenção docente que vá além de uma provocação, como no turno 176. Nos turnos subsequentes essa formulação é feita pelos próprios alunos, ainda que eles desconfiem de que esse seja, ou não, um comportamento regular da natureza, como no turno 178 com a tentativa de generalização de Carla e no turno 181, quando Lays tenta atribuir um nome à “lei”, chamando de “lei gravitacional”.

Quadro 16 – décimo episódio de ensino

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
175	Lays: Eu acho que é uma lei. Tem uma lei que se aplica.		-Classificação de informações -Levantamento de hipóteses
176	Professor: Qual lei?		
177	Lays: Eu não sei qual é.		
178	Carla: Eu não sei se exatamente isso, mas dois corpos de mesma massa tendem a chegar ao chão no mesmo instante de tempo.	Formulação de generalização.	-Explicação -Raciocínio lógico

179	Carlos: Mas as massas são diferentes	Refutação à generalização.	-Organização de informações
180	Carla: Mas ele perguntou a lei		-Organização de informações
181	Lays: Mas o nome da lei eu não sei. Lei gravitacional?		-Classificação de informações

Na sequência o professor exibiu o vídeo no qual fica evidente que a esfera mais pesada, chamada aqui de esfera grande, chega primeiro ao chão. Nessa hora os alunos se euforizaram em suas conclusões nos grupos e, no caso do grupo analisado, percebemos no turno 187 um exemplo da euforização descrita.

Quadro 17 – décimo primeiro episódio de ensino

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
187	Lays: Ah não, tem alguma coisa errada! Cara, olha aqui, pega a imagem. A bolinha de cá foi solta mais fácil. Olha a mão!	Utilização de provas para refutar a observação.	-Organização de informações
188	Professor: Fala Lays.		
189	Lays: Se vocês observarem a imagem que ele deu aqui na folha (no Roteiro) você vê que a mão dele já está aberta quando começa a soltar. Então é a mesma coisa, as bolinhas não foram soltas simultaneamente.		-Organização de informações -Explicação -Justificativa -Teste de hipótese

O debate prosseguiu. Por um lado, aqueles alunos que traziam consigo a ideia de resistência do ar sobre os movimentos de queda tentavam salvar o fenômeno, argumentando que as esferas mais pesadas deveriam cair primeiro; por outro, lado os alunos que aceitaram a concepção de que a resistência atuava igualmente sobre todas as esferas e que a diferença nas quedas se deu por conta dos diferentes instantes de abandonos que tentavam confirmar suas hipóteses. Com isso os alunos solicitaram que o vídeo fosse reproduzido em câmera lenta. Por ocasião da reprodução, todos verificaram que não houve simultaneidade no abandono na primeira atividade, ainda que numa fração de centésimos de segundos. Por isso a diferença no tempo de queda fora perceptível apenas na IE, e não no vídeo reproduzido em tempo real.

A partir da observação do vídeo em câmera lenta os alunos ficaram mais confiantes em formularem um argumento (que eles chamaram de lei), conforme transcrito no turno 193 do quadro 18. Nesse mesmo turno Lays postula as condições de contorno para que a “lei” da Carla seja válida.

Quadro 18 – décimo segundo episódio de ensino

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
192	Professor: Eu quero saber se a lei a que a Carla se refere é válida ou não é?	O professor se refere à fala da aluna no turno 178 da tabela 9	
193	Lays: Sim, é a lei da gravidade. Mas essa lei só se aplica se você soltar os corpos ao mesmo tempo. Porque se você não soltar vai acontecer o que aconteceu ali, uma vai chegar primeiro que a outra.	A aluna impõe condições de contorno para que a generalização seja válida	-Serição de informações -Explicação -Justificativa
194	Professor: Isso é condição primordial, certo?		
195	Lays: Sim, é uma regra, mas há exceções.	Lays evidencia o caráter geral da lei, mas admite a exceção como cientificamente aceite, introduzindo práticas do senso comum.	-Explicação -Organização de informações -Justificativa

Ainda não havia ficado claro se as exceções às quais Lays se referiu no turno 195 do quadro 18 incluíam as diferenças entre as massas e diâmetros das esferas. Como no turno 148 do quadro 13, a aluna considerou a resistência do ar uma constante que independia das características das esferas, em vez de desconsiderar a massa no problema de queda livre, o professor achou necessário intervir para formalizar a interpretação do fenômeno.

Assim, na finalização (Discussão em grande grupo sobre os resultados obtidos, conciliação das ideias e a escrita da interpretação do fenômeno pelos alunos, usando linguagem científica - etapa 6, quadro 3), a sugestão dada pelo professor para verificar se as massas e os diâmetros das esferas influíam nos respectivos movimentos foi no sentido de verificar graficamente como variam as posições com o tempo.

Para isso o professor demonstrou como o software *Tracker* permite fazer

medidas das posições em cada instante do movimento de cada uma das esferas e, com esses valores, esboçar os gráficos das posições verticais em função do tempo. Com os dados organizados em tabela e gráfico o professor fez o ajuste parabólico para que os alunos comparassem as equações dos gráficos, à luz do modelo físico, que lhes foi apresentado.

Na figura 29 estão os gráficos das curvas ajustadas aos pontos medidos para os movimentos das duas esferas da primeira atividade, aquela em que houve diferença nos tempos de queda. A pequena discrepância entre os parâmetros A e C das duas equações (respectivamente 0,16% e 0,90%), indicam que as esferas estiveram submetidas à mesma aceleração (parâmetro A) e partiram praticamente da mesma posição inicial (parâmetro C). Por outro lado, o parâmetro B, associado à velocidade inicial, teve discrepância bastante elevada. A velocidade inicial da esfera grande (gráfico da figura 29B), é 25% discrepante em relação à velocidade inicial da esfera Média (gráfico da figura 29A). Portanto, as esferas saíram da mesma posição inicial, foram submetidas à mesma aceleração, porém abandonadas em instantes diferentes.

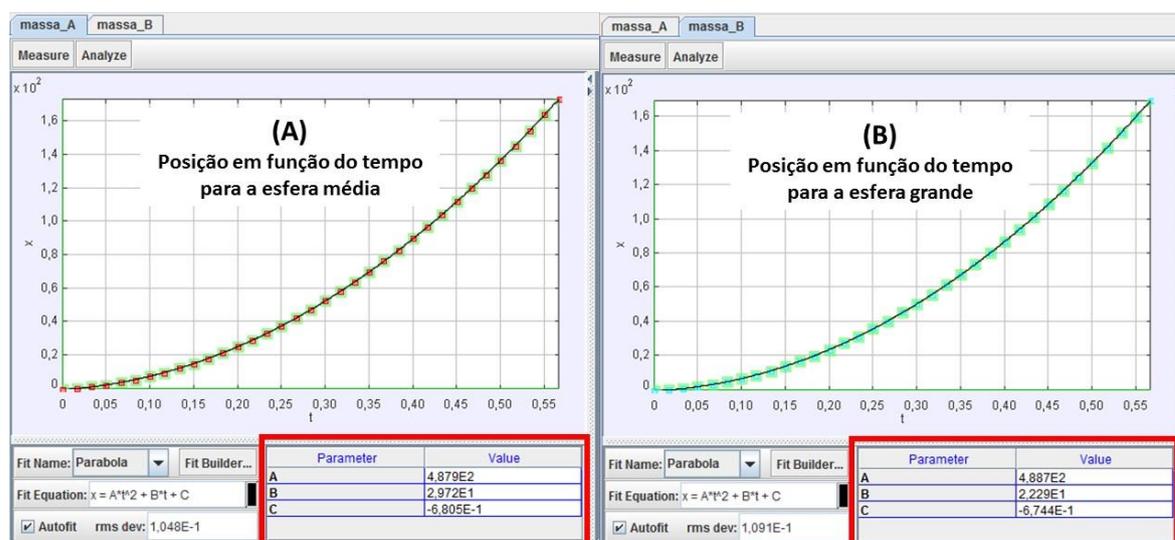


Figura 29: Gráfico da posição em função do tempo para a esfera média (A) e para a esfera grande (B). As unidades fundamentais de medida são o centímetro e o segundo.

Como a intervenção ocorreu numa aula dentro do planejamento de um curso de Física da primeira série, a finalização possibilitou a continuidade do aprendizado nas próximas intervenções, que não seriam objeto de pesquisa, com a vantagem de os alunos terem iniciado seus estudos numa situação concreta para chegar à

interpretação abstrata do modelo físico. Os resultados obtidos nessa intervenção possibilitaram ao professor planejar as próximas atividades tal que elas permitissem aos alunos reconhecer que a queda livre pode ocorrer na superfície da Terra em determinadas condições e que, quando em queda livre, a massa do corpo influi pouco no seu movimento, pelo menos para as alturas de lançamento consideradas.

### **5.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

---

Para o local onde foi realizada a pesquisa e com os sujeitos de pesquisa, os resultados das análises dos diálogos dos alunos durante a construção do conhecimento nos permitiram chegar a algumas conclusões acerca da utilização dos recursos de vídeo, imagens estroboscópicas e videoanálise, com uma metodologia de ensino que considera o aluno como parte integrante do processo de aprendizagem.

Devido ao volume de dados obtidos na pesquisa, organizamos a discussão dos resultados em subseções a fim de uma melhor organização textual. Dessa forma a discussão foi dividida em três etapas: a primeira sobre a intervenção didática de investigação baseada em vídeo, a segunda sobre a utilização das imagens estroboscópicas e a videoanálise como recursos para um ensino por investigação e a terceira sobre os indicadores de alfabetização científica e o padrão argumentativo de Toulmin.

#### **5.3.1 Intervenção Didática de Investigação Baseada em Vídeo como metodologia para a promoção do ensino por investigação**

Como dito anteriormente, consideramos que aprender ciência é aprender a falar ciência (LEMKE, 1997) e, por isso, desde o planejamento da intervenção didática de investigação baseada em vídeo para investigar a queda dos corpos consideramos de grande importância dar oportunidade para os alunos falarem e, assim, chegarem às suas conclusões. Os resultados apresentados na seção anterior nos mostram que durante todo o tempo em que a intervenção ocorreu os alunos estiveram intelectualmente ativos para a solução do problema proposto. Além de estarem ativos,

os indicadores de alfabetização científica presentes nas falas dos alunos mostram que todas as afirmações por eles feitas estão relacionadas a justificativas e julgamentos construídos logicamente, ou seja, durante o processo de aprendizagem os alunos foram protagonistas.

Como a metodologia de ensino considera referenciais que promovem a interatividade entre os alunos e o fenômeno em estudo (WHITE; GUNSTONE, 1992), (CARVALHO, 2013), em grande parte do tempo as interações discursivas ocorreram entre os alunos, com poucas intervenções docentes que, quando ocorreram, foram no sentido de fomentar mais as interações discursivas e a formulação da argumentação. Na figura 30 representamos a distribuição percentual das falas nos turnos para o grupo de alunos pesquisado. Percebemos aqui uma característica importante na proposta de ensino por investigação: a mudança do papel docente de transmissor do conhecimento produzido pelas gerações anteriores para um papel de promotor do conhecimento, conforme coloca Freire (2005).

### Distribuição das falas nos turnos

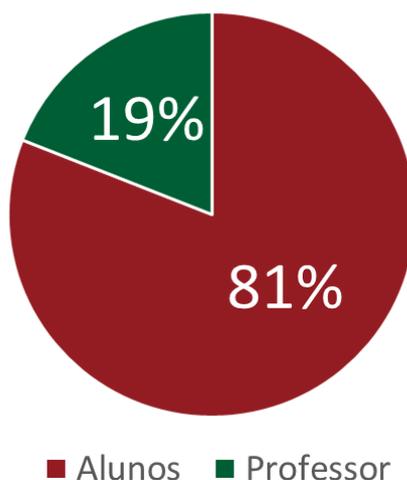


Figura 30 - percentual de falas nos turnos. Para uma proposta de ensino por investigação a postura docente em relação conhecimento difere daquela na concepção bancária de ensino.

A estratégia interativa POE e as Sequências de Ensino Investigativas SEI têm por pressuposto que os conhecimentos prévios dos alunos sejam valorizados (quadro 1) e para isso ocorrer é importante que a pergunta de investigação possa confrontar esses conhecimentos. Nesse sentido, nossa pergunta de investigação considerou o conhecimento prévio que corpos mais pesados caem mais rapidamente que corpos

mais leves. Nossos resultados corroboram a importância que deve ser dada à pergunta de investigação, pois percebemos que, desde os instantes iniciais da intervenção, os alunos estiveram ativos cognitivamente, assim permanecendo ao longo de toda a intervenção. Isso porque, imediatamente após o docente terminar a proposição do problema (turno 17), os alunos, em suas falas, apresentaram indicadores de alfabetização científica relacionados ao levantamento e teste de hipóteses, o que indica sua necessidade de compreensão da situação analisada (SASSERON; CARVALHO, 2008). Na figura 31 representamos o percentual de presença de indicadores de alfabetização nos turnos dos alunos, excluindo-se aqueles turnos em que houve a intervenção docente.

### Presença de Indicadores de AC nos turnos



Figura 31 – percentual de turnos dos alunos com a presença de indicadores de alfabetização científica.

Assim, conforme previmos na elaboração da intervenção, os resultados nos mostram que uma atividade prática que desafia as concepções prévias dos alunos encorajando-os a reorganizar suas teorias pessoais, que considera a interrelação entre *fatores da experiência pessoal, da linguagem e da socialização* (DRIVER et al., 1999) é favorável para a construção do conhecimento científico em sala de aula.

Outra observação importante acerca da metodologia de ensino é o fato de que os alunos não se limitaram às etapas colocadas na estratégia POE. Como sabemos

essa estratégia divide-se em três etapas, a de prever, a de observar e a de explicar. Entretanto, ainda na etapa da previsão, como os alunos dispunham de recursos para a “reprodução” do experimento (eles abandonaram diferentes objetos de uma mesma altura num mesmo instante), eles observaram e, também, formularam suas primeiras explicações. Isso nos permitiu concluir que, para o local de pesquisa em questão, a estratégia POE serviu eficientemente para o planejamento docente, mas que, no processo de aprendizagem por investigação, no qual o discente tenha oportunidade de manipular materiais e propor experimentos, não podemos esperar que os alunos enquadrem seus pensamentos em etapas pré-determinadas nas metodologias de ensino. Aprender num ensino por investigação é uma prática essencialmente livre da mesma forma que livres são os pensamentos.

### **5.3.2 A utilização das imagens estroboscópicas e da videoanálise como recursos para o ensino por investigação**

A observação do movimento de queda pelos alunos a partir das imagens estroboscópicas demonstrou que um vídeo se configura como uma refinada ferramenta para fazer observações detalhadas dos movimentos, conforme propuseram Dias (2011) e Dias, Barros e Amorim (2009). Os resultados confirmaram o potencial desses recursos para a promoção tanto de um ensino por investigação quanto para a promoção da alfabetização científica, uma vez que toda a construção da explicação para o que foi observado, se deu a partir das interações e com a presença de diversos Indicadores de alfabetização científica nas falas dos alunos.

Por isso, para o ensino por investigação, as imagens estroboscópicas e a videoanálise são recursos que possibilitam ao professor propor a resolução de problemas reais aos alunos (MALHEIRO e FERNANDES, 2015). As imagens estroboscópicas permitem uma observação pormenorizada dos movimentos, possibilitando a confrontação entre os conhecimentos prévios e o que se verifica à luz da observação e, a partir daí a videoanálise permite a sistematização do conhecimento com medidas feitas *on time*, a organização dos dados em tabelas e a modelagem fenomenológica com o ajuste de modelos matemáticos aos dados experimentais.

O fato de os recursos terem origem em vídeos nos permite inferir que a gama de

possibilidades de movimentos a serem filmados e depois transformados em material didático é grande. De certa forma exemplificamos algumas possibilidades no capítulo 4. Essas atividades podem substituir ou mesmo complementar os problemas idealizados que são propostos nos livros didáticos. Dessa forma, esses recursos, utilizados didaticamente, dão oportunidade para os alunos aprenderem ativamente a partir da interação com o fenômeno, com os pares, com o professor e com o desenvolvimento de uma postura investigativa (LEMKE, 2006), dentre outros aspectos inerentes à cultura científica. Ou seja, as imagens estroboscópicas e a videoanálise, utilizadas como recurso didático numa metodologia que permitiu a investigação, foram favoráveis para que a queda dos corpos fosse ensinada aos alunos de forma construtivista.

Por outro lado, por se tratar de recursos para a investigação de movimentos reais com riqueza de detalhes, muitas são as variáveis presentes nas propostas de estudo levadas aos alunos. Em nosso caso isso ficou evidente. Inicialmente, na realização das filmagens das esferas em queda a partir do abandono manual, as variáveis presentes pensadas foram aquelas de natureza extensiva, como a massa, o diâmetro e o volume. Além dessas grandezas também foram pensadas a interação gravitacional entre a massa das esferas e a massa da Terra e a interação do contato entre a esfera e o ar atmosférico, ou seja, a resistência do ar, ainda que com efeito desprezível.

Assim, não estavam presentes na ocasião da filmagem para a produção do material didático da intervenção tanto a não simultaneidade no abandono quanto o conceito de centro de massa para o movimento da partícula, que surgiu no turno 164 (embora este não tenha continuado nas interações discursivas dos alunos). Apesar de essas interações não serem observáveis quando o vídeo é reproduzido em tempo real, o potencial de observação detalhada do movimento possibilitado pelas imagens estroboscópicas e pela videoanálise – para além do que normalmente se vê – fez com que a delimitação de variáveis/interações inicialmente pensadas fosse ampliada.

Do exposto acima inferimos duas conclusões: a primeira é que para a proposta de ensino por investigação é importante que o docente tenha em mente todas as interações possíveis e, com isso, possa se preparar para as possibilidades de caminhos para se atingir o objetivo de ensino; a segunda é que quando se considera todas as interações possíveis num fenômeno a ser investigado, boa parte do tempo

disponível será utilizado para a compreensão da situação analisada. Na figura 32 a segunda conclusão é confirmada, pois, dentre todos os turnos que tiveram indicadores de alfabetização científica dos alunos, a metade foram daqueles indicadores relacionados ao entendimento da situação analisada (quadro 2), restando 33% de indicadores relacionados aos trabalhos com os dados da investigação e 17% dos indicadores relacionados à estruturação do pensamento.

### Distribuição dos indicadores de AC

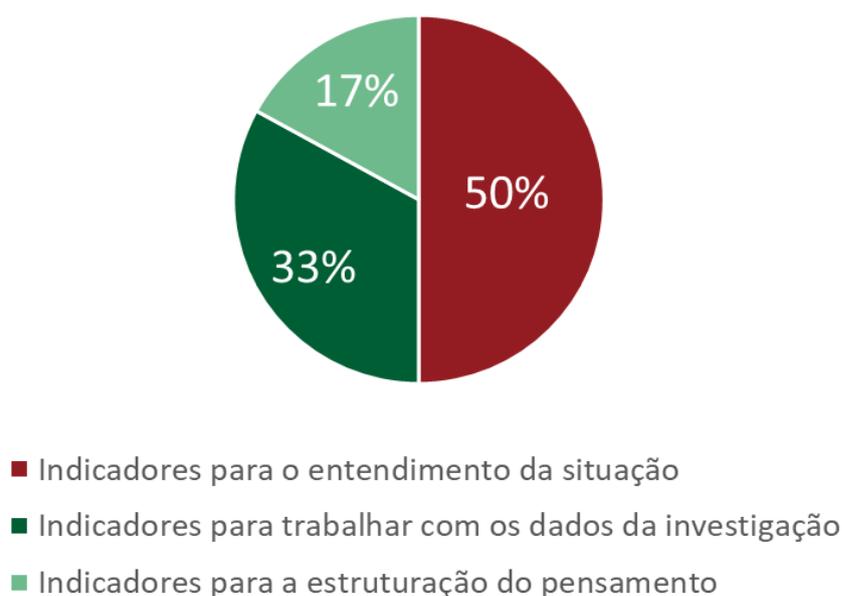


Figura 32 – distribuição percentual da natureza dos indicadores de alfabetização científica.

#### 5.3.3 Os indicadores de alfabetização científica e o padrão argumentativo de Toulmin

Em nossa opinião, para o aluno na educação básica a alfabetização científica não é um fim, mas um processo em constante construção, pois, assim como Sasseron (2008), consideramos a alfabetização científica como um estado sujeito a constantes modificações ao longo da formação escolar dos alunos. Nesse sentido consideramos todo o processo de construção do conhecimento como importante na formação discente, e não apenas o resultado final. Ao considerar o processo temos oportunidade de enfatizar como ocorre o desenvolvimento de ideias científicas, e não apenas o resultado final (SASSERON e CARVALHO, 2013).

Dessa forma, todo o processo de aprendizagem deve ser valorizado quando se busca a compreensão, ou mesmo uma avaliação do processo e, nesse sentido, ter a oportunidade de analisar os indicadores é de grande importância. Por outro lado, também consideramos que a ciência é comunicada por meio do padrão dialógico de um argumento (JIMENEZ ALEIXANDRE, 2010), uma vez que para a comunicação em Ciências é preciso que as conclusões estejam fundamentadas em dados, em conhecimentos básicos, precisam ser qualificadas e refutáveis. Por isso consideramos que para a avaliação de um processo de ensino científico autêntico precisamos considerar tanto o processo como o resultado final.

Por isso buscaremos, nesta subseção, identificar que a formulação de um argumento, no padrão argumentativo de Toulmin, é a finalização de uma sequência de interações discursivas nas quais a construção do conhecimento é identificada a partir da presença dos indicadores de alfabetização científica nas falas dos alunos, conforme colocaram Sasseron e Carvalho (2008).

Vale ressaltar que a construção de argumentos ocorreu de forma coletiva e não linear. Por exemplo: a **conclusão** colocada nos turnos 52 e 53 (que a gravidade atua nas duas esferas da mesma forma) foi construída a partir da premissa de que os corpos foram abandonados instantaneamente e, por isso, independente das massas os dois objetos chegam ao chão no mesmo instante. Essa conclusão é **garantida** nos **dados** oriundos da observação da queda de objetos que os alunos reproduziram nos turnos 18, 20, 22, 38 e 44 (os alunos abandonaram diversos objetos e observaram que caíram no mesmo instante). Esses dados foram obtidos a fim de corroborar ou refutar os **conhecimentos básicos** dos alunos do grupo. Por um lado, aqueles que previram que a massa não influiria no movimento (turnos 19, 26, 27, 28 e 29) e por outro lado aqueles que achavam que a mais “pesada” cairia primeiro (turnos 21 e 23). Houve turnos em que a conclusão foi **refutada** por ocasião da sugestão do abandono de um objeto denso junto a uma folha aberta (turnos 33, 34 e 41), mas, em nova discussão, os alunos desconsideraram essas influências pela falta de dados (turnos 35, 36 e 37) e acabaram por **qualificar** a conclusão considerando que independente das massas as esferas cairão no mesmo instante (turnos 52 e 53).

Assim identificamos o padrão argumentativo de Toulmin e o representamos na figura 33, de acordo com o esquema proposto na figura 25.

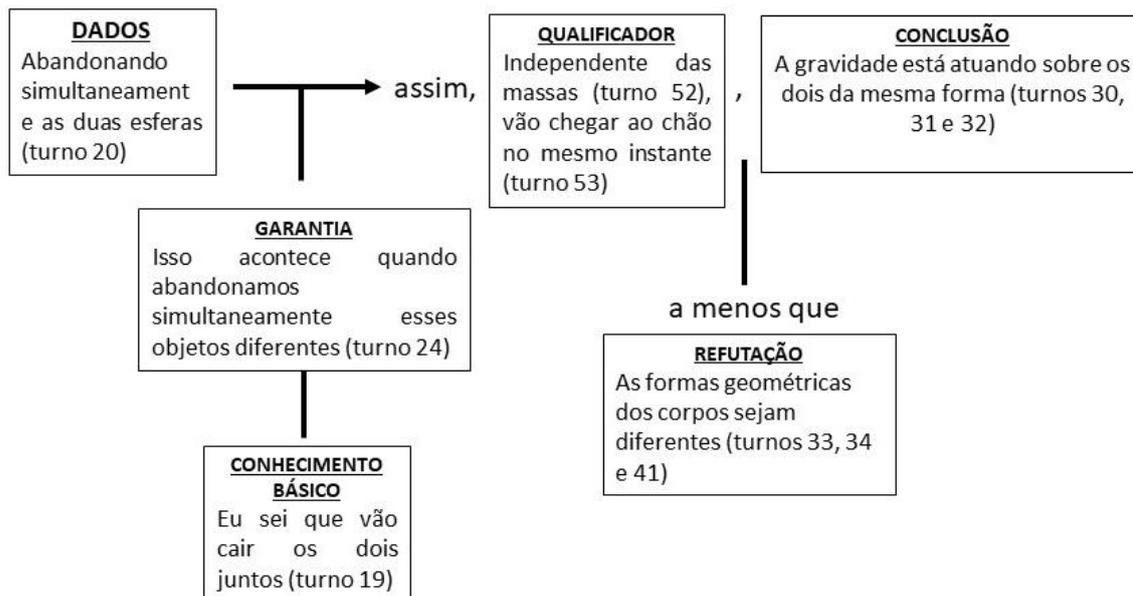


Figura 33 – Representação do argumento construído pelos alunos, de acordo com o modelo proposto por Toulmin (Sasseron e Carvalho, 2013).

Dessa forma confirmamos que o argumento é evidência de que houve aprendizagem científica, mas reconhecemos que ele é o produto final de uma construção dialógica do conhecimento, e que a busca pelos indicadores do processo nos permite “abrir a caixa preta” e compreender aquilo que os alunos fazem. Trata-se de uma metodologia de pesquisa que nos revela toda a riqueza das interações discursivas para que, assim, possamos avaliar de que forma aquilo que planejamos para nossas intervenções didáticas contribuiu para que nossos alunos aprendessem Ciências. Dessa forma também podemos avaliar nossas perspectivas metodológicas a fim de compatibilizá-las com as necessidades dos cidadãos contemporâneos e com as demandas socioambientais de um planeta que precisa reavaliar suas ações

É bom lembrarmos que é bastante recente a disponibilidade dos recursos para gravação de vídeos digitais, mas para os jovens que hoje estão na educação básica, celulares que filmam, editam e compartilham vídeos e fotos fazem parte de toda sua história. Por isso acreditamos que, em breve, em algum momento da nossa história, a utilização de vídeos para investigar a natureza deixará de ser uma novidade e passará a ser uma necessidade. Dessa forma esperamos, com este trabalho, ter contribuído para que o futuro não nos surpreenda, mas nos transforme para melhor.

## 6. REFERÊNCIAS

---

ALVES FILHO, J. P. *Atividades experimentais: do método à prática construtivista*. 2000. 448 f. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2000.

ARRUDA, S. M.; SILVA, M. R. DA; e LABURÚ, C. E.; Laboratório didático de Física a partir de uma perspectiva Kuhniana. *Investigação em Ensino de Ciências*. v. 6, n. 1, 2001.

AZEVEDO, M.C.P.S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org). *Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 19-33.

BACHELAR, G. *A chama de uma vela*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ed., 1989, 112 p.

BARBETA, V. B. e YAMAMOTO, I. Software para análise de vídeo digital como Recurso didático para aulas de física básica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 29, 2001, Porto Alegre.

BASSOLI, F. Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciência(s): mitos, tendências e distorções. *Ciência & Educação*. v. 20, n. 3, p. 579-593, 2014.

BEZERRA Jr, A. G., OLIVEIRA, L. P., LENZ, J. A. e SAAVEDRA, N. *Videoanálise com o software livre tracker no laboratório didático de física: movimento parabólico e segunda lei de Newton*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.29, n.1: p. 469-490, set. 2012.

BONVENTI JR, W. e ARANHA, N. Estudo das oscilações amortecidas de um pêndulo físico com o auxílio do Tracker. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 2, 2015.

BORGES, A. T. *Novos rumos para o laboratório escolar de ciências*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n.3, p.291-313, dez. 2002.

BRAGA, M.; GUERRA, A. e REIS, J. C. *Breve história da ciência moderna, volume 2: das máquinas do mundo ao universo máquina*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2004, 135 p. ISBN 85-7110-781-5.

BRASIL. Lei de diretrizes e bases da educação nacional, 9394 de 20 de dezembro de 1996.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília: MEC, 1999

BUSSELLE, M. *Tudo sobre fotografia*. São Paulo: Círculo do Livro S.A., 1977, 224 p.

- CABANNE, P. *Marcel Duchamp: engenheiro do tempo perdido*. São Paulo: Ed. Perspectiva, 2012, 200 p. ISBN 978-85-273-0134-3.
- CACHAPUZ, A., PAIXÃO, F., LOPES, J. B. e GUERRA, C. Do Estado da Arte da Pesquisa em Educação em Ciências: Linhas de Pesquisa e o Caso “Ciência-Tecnologia-Sociedade”. *ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v.1, n.1, p. 27-49, mar.2008.
- CANIATO, R. *Mecânica: Projeto Brasileiro para o Ensino de Física*. Campinas: Fundação tropical de pesquisas e tecnologia, 1979.
- CARVALHO, A. M. P. Enculturação científica: uma meta do ensino de Ciências. In: TRAVESSINI, C. et al. (Org.). *Trajelórias e processos de ensinar e aprender: práticas e didáticas*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008. v. 2. p. 115-135.
- CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de Sequencias de Ensino Investigativas. *Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula*. In.\_\_\_\_ (Org.). São Paulo: Ed. Cengage learning, 2013. Cap.1, p.1-20.
- CARVALHO, L. M. O. e VILLANI, A. Representações mentais e conflitos cognitivos: o caso das colisões em mecânica. In: NARDI, Roberto (org). *Pesquisas em ensino de Física*. São Paulo: Escrituras, 2004. p. 81-95.
- CARVALHO, P. S. e RODRIGUES, M. J. The bottle flip challenge demystified: where is the centre of mass? [\*Physics Education\*, v. 52](#), n. 4 , 2017.
- CARVALHO, P. S. e RODRIGUES, M. Teaching physics with *Angry Birds*: exploring the kinematics and dynamics of the game. [\*Physics Education\*](#), v. 48, n. 4, 2013.
- CARVALHO, P.S., RODRIGUES, M., PEREIRA, C., ATAÍDE, M., BRIOSA, E. How to Use a Candle to Study Sound Waves. *The Physics Teacher*, v. 51, 2013.
- CHASSOT, A. *Alfabetização Científica: questões e desafios para a educação*. 7ª edição. Ijuí: Ed. Unijuí, 2016. 344 p.
- DIAS, M. A. *A Cor e Sua Fenomenologia: Um Plano de Aula Sobre O Modelo de Cores de Newton*. 2006. 68 p. (Monografia – Curso de Licenciatura em Física) Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- DIAS, M. A. e SOUSA, J. J. F. Plano de aula sobre a teoria das cores de Isaac Newton com abordagem construtivista. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 17, São Luis, 2007.
- DIAS, M. A., *Utilização de fotografias estroboscópicas digitais para o estudo da queda dos corpos*. 2011. 92 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

DIAS, M. A.; BARROS, S. S.; AMORIM, H. S. Produção de fotografias estroboscópica sem lâmpada estroboscópica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n.3, p.492-513, 2009.

DIAS, M. A.; BARROS, S. S.; AMORIM, H. S. Produção de fotografias estroboscópica sem lâmpada estroboscópica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n.3, p.492-513, 2009.

DRIVER, R., HASOKO, H., LEACH, J. MORTIMER, E. e SCOTT, P. Construindo conhecimento científico na sala de aula. *Química nova na escola*, n. 9, p.31-40, 1999.

EADKHONG, T., RAJSADORN, R., JANNUAL, P. e DANWORAPHONG, S. Rotational dynamics with Tracker. *European Journal of Physics*, v. 33, n. 3, 2012.

FIGUEIRA, J. S. Movimento browniano: uma proposta do uso das novas tecnologias no ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 4, 2011.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. 35 Ed. São Paulo: Editora Paz e Terra, 2007.

Fundação Calouste Gulbenkian, 1985, Lisboa.

HEWIT, P. G., Física Conceitual. 9 Ed. Bookman, 2002.

HOFSTEIN, A. E LUNETTA, V. N. (2004) The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. *Science Education*, vol. 88, ISSUE 1, PP.28-54

HOLTON, G, RUTHERFORD, F. J., FLETCHER, G. W., *Projecto Física, unidade 1*,

JESUS, V.L.B. e SASAKI, D.G.G. O experimento didático do lançamento horizontal de uma esfera: Um estudo por Videoanálise. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n.1, 2015.

JESUS, V.L.B. e BARROS, M.A.J. As múltiplas faces da dança dos pêndulos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.36, n.4, 2014.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. *10 ideas clave: competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó, 2010. 200 p. ISBN 978-84-7827-897-8.

KEARNEY, M. Classroom Use of Multimedia-Supported Predict–Observe–Explain Tasks in a Social Constructivist Learning Environment. *Research in Science Education*, v.34, p.427–453, 2004.

KINCHIN, J. Using Tracker to prove the simple harmonic motion equation. *Physics Education*, v. 51, n. 5, 2016.

KUÇUKOZER, H., The effects of 3D computer modelling on conceptual change about seasons and phases of the Moon. *Physics Education*, v.43, p.632-636, 2008.

LEITE, J. C., RODRIGUES, M. A. e JUNIOR, C. A. O. M., Ensino por investigação na visão de professores de Ciências em um contexto de formação continuada. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v.8, 2015.

LEMKE, J. L. *Aprender a hablar ciencia: Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós, 1997. 273 p. ISBN 84-493-0320-6.

LEMKE, J. L. Investigar para el futuro de la educación científica: novas formas de aprender, novas formas de vivir. *Enseñanza de las Ciencias*, v.24, p.5-12, 2006.

LOYOLA, G. F. *Me adiciona.com. Ensino de Arte+Tecnologias Contemporâneas+Escola Pública*. 2009. 148 f. Dissertação (Mestrado em Artes) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

MALHEIRO, J. M. S. e FERNANDES, P. O recurso ao trabalho experimental e investigativo: percepções de professores de ciências. *Investigações em ensino de ciências*, v.20, n.1, p.79-96, 2015.

MARTINS, I. Dados como diálogo: construindo dados a partir de registros de observação de interações discursivas em salas de aula de ciências. In: SANTOS, F. M. T. e GRECA, I. M. *A Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas Metodologias*. 2 ed. Rio de Janeiro: Ijuí, 2015. p. 297-321.

MENEZES, L. C., Uma Física para o novo ensino médio. *Física na Escola*, v. 1, n. 1, 2000.

MOREIRA, 2000. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.22, n.1, 2000.

MOREIRA, A. M. G. P. A distância: construção de um objeto artístico a partir das imagens da memória e do presente. 2016. 63 f. Dissertação (Mestrado em Práticas Artísticas Contemporâneas). Universidade do Porto, Porto, 2016.

NEDELSKY, L. Introductory physics laboratory, *American Journal of Physics*, n. 26, v. 2, 51-59, 1958.

PENHA, S. P.; CARVALHO, A. M. P. e VIANNA, D. M. Laboratório didático investigativo e os objetivos da enculturação científica: análise do processo. *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, v.5, n.2, p.6-23, 2015.

PEREIRA, M. V. e MOREIRA, M. C. A. Atividades prático-experimentais no ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 34, n. 1, p. 265-277, abr. 2017.

PERINI, L., FERREIRA, G. K. e CLEMENT, L. Projeto de ensino PSSC: uma análise dos exercícios/problemas. 2009. XVIII SNEF. Vitória, ES.

PIETROCOLA, M., POGIBIN, A., ANDRADE, R. e ROMERO, T. R. *Física em contextos: pessoal, social e histórico*. 1 Ed. São Paulo: Editora FTD, 2010.

PIZARRO, M. V. e LOPES JUNIOR, J. Indicadores de alfabetização científica: uma revisão Bibliográfica sobre as diferentes habilidades que podem ser promovidas no ensino de ciências nos anos iniciais. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.20, n.1, p.208-238, 2015.

PSSC - PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. *Física*. Brasília: Eitora Universidade de Brasília, 1965.

RAKKAPAO, S. PENG PAN, T., SRIKEAW, S. and PRASITPONG, S. Evaluation of POE and instructor-led problem-solving approaches integrated into force and motion lecture classes using a model analysis technique. *European Journal of Physics*, v.35, p.1-10, 2014.

RAMOS, P., GIANNELLA, T. R. e STRUCHINER, M. A pesquisa baseada em design em artigos científicos sobre o uso de ambientes de aprendizagem mediados pelas tecnologias da informação e da comunicação no ensino de Ciências. *ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v.3, n.1, p.77-102, maio. 2010.

RODRIGUES, M. e CARVALHO, P. S., Teaching optical phenomena with Tracker. *Physics Education*, v.49, n.6, p.671-677, 2014.

SABA, M. F., MELO, T. B. e THOMPSON, P. Ensinando rotação e equilíbrio com o “clipiã”. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 15, 2003, Curitiba, PR.

SANTOS, R. J. e SASAKI, D. G. G., Uma metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de mecânica em educação de jovens e adultos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n.3, 2015.

SANTOS, W. L. P. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. *Revista Brasileira de Educação*, v. 12 n. 36, 2007.

SASSERON, L. e MACHADO, V. F. *Alfabetização científica na prática: inovando a forma de ensinar Física*. 1 Ed. São Paulo: Editora livraria da Física, 2017. 97 p.

SASSERON, L. H. e CARVALHO, A. M. P. Ações e indicadores da construção do argumento em aula de Ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v.15, n.2, p. 169-189, 2013.

SASSERON, L. H. e CARVALHO, A. M. P., Alfabetização científica: uma revisão Bibliográfica. *Investigação em ensino de Ciências*. v.16, n.1, p.59-77, 2011a.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P., Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de alfabetização científica e o padrão de toulmin. *Ciência & Educação*, v. 17, n. 1, p. 97-114, 2011b.

SASSERON, L. H. Ensinar, aprender e avaliar em aulas de Física: interagindo para construir argumentos e argumentando em favor das interações. In: CAMARGO,

Sérgio; GENOVESI, Luiz Gonzaga Roversi; DRUMMOND, Juliana M. Hidalgo F.; QUEIROZ, Glória Regina Pessôa Campello; NICOT, Yuri Esposito e NASCIMENTO, Silvania Souza (org). *Controvérsias na Pesquisa em Ensino de Física*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014. p. 38-57.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.13, n.3, p.333-352, 2008.

SCARPA, D. L. O papel da argumentação no ensino de ciências: lições de um workshop. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, Belo Horizonte, v. 17, n. especial, p.15-30, nov. 2015.

SCHWARCZ, L. M. *As barbas do imperador*. D, Pedro II, um monarca nos trópicos. São Paulo: Companhia das Letras, 1998, 623 p. ISBN 85-7164-837-9.

SERÉ, M. G.; COELHO, M. S.; DIAS, N. A. O papel da experimentação no ensino da Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 20, n. 1, 2003.

SOUZA, H. A. G. Marey e a visibilidade do invisível. In: Congresso Brasileiro da Comunicação, 24, 2001, Campo Grande. Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação. Disponível em <http://www.intercom.org.br/papers/nacionais/2001/papers/NP7SOUZA.PDF>. Acesso em 18 ago. de 2017.

SUISSO, C. e GALIETA, T. Relações entre leitura, escrita e alfabetização/letramento científico: um levantamento bibliográfico em periódicos nacionais da área de ensino de ciências. *Ciência e. Educação*, v.21, n.4, p. 991-1009, 2015.

TAO, P.K. and GUNSTONE, R. F. The Process of Conceptual Change in Force and Motion during Computer-Supported Physics Instruction. *Journal of Research In Science Teaching* v.36, n.7, p.859–882, 1999.

VILLANI, C. E. P. e NASCIMENTO, S. S. A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.8, n.3, p. 187-209, 2003.

WEE, L. K., CHEW, C., GOH, G. H. TAN, S. e LEE, T. L. Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion. *Physics Education*, v. 47, n. 4, 2012.

WEE, L. K., TAN, K. K., LEONG, T. K. e TAN, C. Using Tracker to understand 'toss up' and free fall motion: a case study. *Physics Education*, v. 50, n. 4, 2015.

WHITE, R. and GUNSTONE, R. *Probing Understanding*. New York: Falmer Press, 1992.

WRASSE, A. C., ETCHEVERRY, L. P., MARRANGHELLO, G. F. e ROCHA, F. S. Investigando o impulso em *crash tests* utilizando vídeo-análise. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 1, 2014.

ZANETIC, J. Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, v. 13 (suplemento), p. 55 -70, outubro 2006.

## APÊNDICE A – TRANSCRIÇÃO COMPLETA DAS INTERAÇÕES DISCURSIVAS DO GRUPO ANALISADO

<b>Turno</b>	<b>Falas transcritas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicadores</b>
1	Professor: Hoje nós vamos começar a estudar o movimento de queda. Até a aula passada nós vínhamos estudando outro movimento, como era o nome mesmo?	Os movimentos com velocidade constante foram estudados em aulas anteriores com os recursos da videoanálise e imagens estroboscópicas.	
2	Turma: Retilíneo e uniforme.		
3	Professor: Qual era a característica dele?		
4	Turma: A velocidade era constante.		
5	Professor: Se eu abandono um objeto de uma certa altura a velocidade dele fica constante?		
6	Lays: Não.		
7	Carla: Ela varia.		
8	Professor: Então é um outro tipo de movimento?		
9	Lays: Sim.		
10	Professor: Nosso estudo de hoje é dividido em três partes. A gente vai pegar essas esferas aqui (mostrando uma projeção com as imagens das esferas com seus diâmetros sendo auferidos com um paquímetro e suas massas com uma balança digital). Três esferas de tamanhos diferentes, duas de vidro e uma de chumbo. Se a gente fizer a leitura aqui, vai ver que os diâmetros delas são diferentes, assim como suas massas.		
11	Turma faz a leitura.		
12	Professor: Uma tem 5,4 g. A outra tem quanto?		
13	Turma: 20,7 g.		

14	Professor: E a outra tem?		
15	Turma: 237,5 g.		
16	Professor: Então elas têm massas bastantes diferentes. Essas informações estão escritas nos Roteiros de vocês.		
17	Professor: A primeira atividade é a seguinte: eu vou abandonar ao mesmo tempo duas esferas. A esfera média, só pra lembrar massa 20 g e diâmetro 2,4 cm, e a esfera grande, só pra lembrar massa 237,5 g e diâmetro 3,4 cm. Vou abandonar elas no mesmo instante. Abandonando simultaneamente as duas esferas, como que a gente pode comparar o movimento das duas?		
18	Lays: Abandonando simultaneamente as duas esferas...	A aluna abandona um frasco de cola escolar branca e sua tampa, num mesmo instante, a fim de reproduzir a queda de dois corpos diferentes	- levantamento de hipóteses
19	Carla: Não gente, eu sei que vai cair os dois	A aluna utiliza conhecimentos anteriores de que a massa não influi na queda dos corpos	- Levantamento de hipóteses
20	Lays: Porém ó! Abandonando simultaneamente as duas esferas como podemos comparar os movimentos de cada uma...	A aluna reproduz a queda dos dois corpos e verifica que caem ao mesmo tempo	- Teste de hipótese
21	Marcos: A esfera mais pesada vai chegar primeiro.	O aluno traz para o grupo a concepção de que corpos mais	- Levantamento de hipóteses - Raciocínio proporcional

		pesados caem mais rapidamente que corpos mais leves	
22	Lays: Ó, vou soltar.		-Teste de hipótese
23	Marcos: o que eu falei que a mais pesada vai cair primeiro.	O aluno chama a atenção do grupo para a queda das esferas proposta pelo professor, descartando a possibilidade da queda da cola e de sua tampa ser um fenômeno análogo	- Levantamento de hipóteses - Raciocínio proporcional
24	Lays: Ao mesmo tempo, ó. Quer que eu faça de novo?	Fundamentando sua previsão na observação de fenômeno semelhante.	-Teste de hipótese
25	Lays: Independente do peso elas vão cair juntas.	Aluna faz uma generalização, o que indica seu conhecimento prévio sobre a queda livre	- Previsão
26	Carla: No mesmo tempo.		-Organização de informações
27	Marcos: Caô, é verdade. Isso é... Acho que independente do tempo. Ele jogou dois bagulhos.		-Organização de informações
28	Carla: Independente do tempo.		-Explicação
29	Lays: Independente das massas dos objetos eles irão cair no mesmo momento.		-Explicação
30	Marcos: Isso aí é porque a gravidade...		-Justificativa
31	Lays: Porque a gravidade está atuando.		-Justificativa
32	Carla: Sobre os dois da mesma forma. Acho que são...	Refuta sua própria hipótese.	-Justificativa
33	Lays: Por exemplo: um exemplo bem básico é uma folha e um celular.		-Levantamento de hipóteses

34	Marcos: A folha não vai cair.	Refuta a hipótese de Lays	-Levantamento de hipóteses
35	Carla: Não.		
36	Carlos: você não deu tempo, não deu distância, não deu nada...	Falta de dados para comprovarem as hipóteses	
37	João: Gente, não dá distância		
38	Lays: Viu?	Abandona a garrafa da cola e sua tampa, separadamente no mesmo instante da altura dos seus olhos.	-Teste de hipótese
39	Carla: Gente, vai cair junto cara!	Se fundamentando na observação.	-Previsão
40	Lays: Vai cair junto.		-Previsão
41	Marcos: Se você colocar a folha aberta com o caderno... é, o caderno vai cair primeiro.	Refuta a generalização da Lays e Carla.	-Justificativa
42	Carla: Não.		
43	Marcos: A folha, você não lembra da folha?		-Explicação
44	Lays: Gente, olha isso aqui!	Lays abandona novamente a cola e sua tampa.	-Teste de hipótese
45	Agora é sério, ó...	Abandona novamente os dois objetos	-Teste de hipótese
46	Marcos: Eu não vi não.	Refuta a observação da Lays. Para isso ele abandona uma série de objetos e uma folha destacada do seu caderno que cai lentamente.	-Organização de informações
47	Marcos: Então não usa esse exemplo. Tem atrito.	Resgate de conhecimentos prévios	-Levantamento de hipótese
48	Carla: O que seria o atrito do ar?		- Classificação de informações

49	Carlos: O ar tem atrito?		- Classificação de informações
50	João: Resistência do ar. Não é atrito não.		- Classificação de informações
51	Lays: Previsão: abandonando simultaneamente os dois objetos...	Tentativa de consenso para formulação da previsão	-Explicação
52	Carla: Independente da sua massa. Ou independente das massas dos dois objetos.		-Organização de informações
53	Lays: Vão cair, vão chegar ao chão no mesmo instante. Pois a força da gravidade atua...		-Organização de informações
54	João: Sobre os dois.		-Organização de informações
55	Lays: Sobre a massa.		-Organização de informações
56	Carla: Hã?	Refuta a afirmação de Lays	
57	Lays: A força da gravidade atua. Não atua? Sobre o movimento de queda dos dois objetos?		-Explicação -Atribuição de justificativa
58	Marcos: O que você acha?		
59	Lays: Sim, porque a gravidade atrai. Por isso que eles chegam ao mesmo instante.		-Raciocínio proporcional -Explicação
60	Marcos: Mas eu não entendi a sua frase. A força da gravidade não atua?		-Organização de informações
61	Lays e Carla: Sim, atua.		-Classificação de informações
62	Marcos: Ah sim.		
63	Professor: Vamos observar no vídeo como foram as quedas.	Professor reproduz o vídeo várias vezes. Por fim exibe a Imagem Estroboscópica dos movimentos.	
64	Lays: Gente, presta atenção: quando a gente assiste ao vídeo, a gente acha que os dois caem no		-Organização de informações -Serição de informações

	mesmo intervalo de tempo. Pela foto Estroboscópica a gente percebe que a bolinha de menor massa, ela alcança primeiro o chão. E aí, o que a gente coloca? Isso?		
65	Carla: Será que ele não soltou a bolinha primeiro? Porque esses erros acontecem. Senão você viria as duas caírem ao mesmo tempo no chão.	Carla levanta a hipótese da não simultaneidade do abandono das esferas pelo professor.	-Levantamento de hipótese -Organização de informações
66	Lays: Professor!	Lays recorre ao professor.	
67	João: Depende né? Do atrito.		-Justificativa
68	Carla: É verdade. Mas assim seria a bolinha mais pesada chegar mais rápido.		-Justificativa -Explicação -Raciocínio proporcional
69	Lays: Exatamente.		
70	João: Se a bolinha leve estivesse assim oh, e a pesada assim, a leve ia chegar primeiro.	Referência à diferença entre os diâmetros das duas esferas.	
71	Marcos: Quanto mais leve o corpo mais rápido chega?	O aluno se depara com uma observação que contrapõe seu conhecimento prévio	-Levantamento de hipótese
72	João: Quanto menos atrito mais rápido chega.	Observando a imagem estroboscópica João descarta a possibilidade de que a resistência do ar dependa apenas da massa, fazendo uma generalização	-Classificação de informação -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional -Justificativa
73	Lays: Mas é a resistência do ar.	Lays corrige o termo atrito usado pelos colegas. Não associa o atrito à resistência do ar	-Explicação

74	João: Sim, resistência do ar. Eu sismo que é atrito.	João evidencia pouca confiança no uso dos termos resistência do ar ou atrito; contudo sabe que se trata de uma força contrária ao movimento do corpo no ar	-Classificação de informação
75	Lays: Gente, deixa a Carla falar.		
76	Carla: Se fosse a resistência do ar a bolinha grande ia chegar mais rápido.	Carla utiliza um raciocínio de proporcionalidade inversa entre a resistência do ar e as dimensões das esferas. Não fica claro se ela estabelece uma relação com as massas das bolas	-Organização de informações -Previsão -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional
77	João: Quanto maior o corpo maior a resistência do ar.	Refuta a Carla com raciocínio proporcional a partir da observação da imagem estroboscópica, considerando as dimensões das esferas e desconsiderando as massas	-Organização de informações -Previsão -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional
78	Antônio (de outro grupo): E aí, o que vocês estão achando agora com a nova imagem?		
79	Lays: Estamos na dúvida. Pelo vídeo pareceu uma coisa, mas pela foto Estroboscópica pareceu outra.		-Serição de informações
80	Carlos: Lembra da folha?		-Organização de informações -Explicação

81	Marcos: A folha está aberta, tem maior resistência.		-Raciocínio proporcional
82	João: Me desculpa, mas não estou entendendo não.		
83	Professor chega ao grupo		
84	Lays: O que a gente está querendo saber é o que está atuando: se é só a gravidade ou se tem a resistência do ar. Quando o vídeo passa a gente acha que as duas bolinhas alcançam o chão no mesmo intervalo de tempo. E na foto está mostrando que a bolinha de menor massa atinge o chão primeiro.		-Serição de informações -Organização de informações
85	Professor: Então por isso vocês não chegaram num consenso?		
86	Lays: Não, é que a gente chegou nesse consenso, que pelo vídeo mostra uma coisa e pela foto tá mostrando outra. Então a gente não sabe qual que está correta.	A aluna explica o porquê da dificuldade em formular uma explanação fundamentada no vídeo ou na imagem estroboscópica	-Organização de informações -Explicação
87	Professor: Por que será que no vídeo a gente não percebe que a menor cai primeiro?	Nessa hora o professor induz uma confiabilidade maior para a imagem estroboscópica	
88	Lays: Porque o intervalo de tempo é bem curto, quase insignificante.	A aluna pensa na possibilidade de desconsiderar o pequeno intervalo de tempo entre as duas esferas chegarem ao chão	-Levantamento de hipótese -Justificativa -Explicação
89	Professor: Então é porque o movimento é muito rápido e nossos olhos não conseguem perceber?	Professor justifica porque a imagem estroboscópica é melhor para	

		observar o movimento	
90	Lays: Sim, não conseguem.		-Organização de informações
91	Professor: E a partir da Imagem Estroboscópica a gente tem uma...	Professor da pausa para que os alunos formulem suas conclusões	
92	Lays: Detalhe.	A aluna conclui	-Explicação
93	Professor: A gente vê mais detalhes.	Confirmação da fala da aluna	
94	Carlos: A gente não vê exatamente o que acontece. A gente vê uma coisa meio atrasada.	Efeitos de delay na reprodução do vídeo.	--Explicação -Organização de informações
95	Professor: Quando o vídeo está rodando?		
96	Lays: Sim.		
97	Professor: Pois é, então nesse caso o que é melhor você observar, o vídeo ou a imagem?		
98	Lays: A imagem Estroboscópica.		-Classificação de informações
99	Professor: Então que informação é mais confiável?		
100	Lays: A Imagem Estroboscópica.		-Organização de informação
101	Professor: Então, o que vocês estão vendo ali? Muitas vezes não o que a gente queria ver, ou o que a gente achou que fosse, mas é o que está aí.		
102	Lays: Ah, agora eu entendi.		
103	Professor: Assim é a natureza. Muitas vezes ela é de uma forma que a gente não gostaria que ela fosse.		
104	Lays: Mas isso vai acontecer com todos os corpos?	Tentativa de formulação de uma lei geral.	-Organização de informações
105	Professor: Vamos ver os próximos vídeos.		

106	Lays: Mas no caso tem a resistência do ar atuando, não tem?		-Levantamento de hipótese
107	Professor: Não sei, se você quiser considerar tudo bem.		
108	Lays: Sim, porque a gravidade, ela não vai mudar. Mas a resistência do ar ela pode mudar de acordo com a massa.		-Organização de informação -Explicação -Atribuição de justificativa
109	Professor: Sim.		
110	Lays: Então eu acho que é por isso que elas alcançam em intervalos de tempo diferentes.		-Classificação de informações
111	Professor: Vocês já pensaram na possibilidade de o professor ter abandonado uma depois da outra?		
112	Lays: Exatamente. É isso que a gente está achando.		
113	Professor: Vamos ver os outros vídeos.		
114	Carla: Professor, o que eu aprendi é que dois corpos, independente da sua massa, chegariam ao mesmo tempo, desprezando a resistência do ar.		-Organização de informações -Explicação -Atribuição de justificativa
115	Professor: Aí sim, desprezando...		
116	Lays: Desprezando...		
117	Carlos: No vácuo eles chegariam. Uma folha e uma tonelada sim. É isso que eu estou querendo dizer, que tem a resistência do ar atuando sobre os corpos.		-Classificação de informações -Levantamento de hipóteses -Explicação -Justificativa
118	Professor: A gente pode esclarecer essas dúvidas que vocês estão tendo com um outro vídeo. Vou passar o outro vídeo.	Professor se afasta do grupo para iniciar a reprodução do segundo vídeo.	
119	Lays: Caraca, foi muita coisa que a gente falou!	Nessa hora o grupo, liderado por Lays,	

		formulam por escrito uma explicação para o observado.	
120	Professor: Na atividade 2 nós vamos abandonar a esfera pequena, a massa dela é 5,4 g e o diâmetro 1,6 cm, Junto com a grande. Diâmetro da grande 3,4 cm e massa 273 g. Eu solicito que vocês façam suas previsões sobre o movimento das esferas.		
121	Lays: Cara, a previsão é a mesma.	A aluna se refere ao que aconteceu na atividade 1, ou seja, que a esfera menor cairá primeiro	-Levantamento de hipóteses
122	Marcos: Quem é mesma?	O aluno tenta compreender onde está a diferença entre as atividades 1 e 2.	-Classificação de informações
123	João: Cara, massa $m_P$ é da pequena e $m_G$ da grande.	O aluno explica que a esfera média da atividade anterior foi substituída por uma esfera pequena.	-Serição de informações
124	Marcos: Que isso, cara! A diferença de uma massa pra outra é muito grande!	O aluno refuta a previsão de Lays em função do aumento considerável na diferença entre as massas e os diâmetros das esferas.	-Classificação de informações
125	Carla: Cara, eu continuo achando que a previsão é a mesma.	A aluna se refere à previsão que ela havia feito para a atividade 1, que ambas caíam juntas (turno 19).	-Levantamento de hipótese

126	Marcos: Incluindo a resistência do ar eu acho que a pesada chega mais rápido.	Marcos sustenta a hipótese aristotélica de que corpos pesados caem mais rapidamente que corpos mais leves.	-Organização de informações -Levantamento de hipótese
127	Carla: Não porque, no caso, a gente não tem essa informação.		-Organização de informações
128	Marcos: Então, é só a previsão.	O aluno atenta para o fato de que eles estão formulando uma previsão, quando podem livremente dizer o que acham que ocorrerá.	
129	Lays: Na teoria as duas bolinhas chegam ao chão, independente da massa.		-Organização de informações -Raciocínio lógico
130	Carlos: Na teoria?		
131	Lays: Sim, desprezando a resistência do ar.		-Justificativa
132	Carlos: Tá falando do vácuo? Quando está no vácuo os dois caem ao mesmo tempo.		-Organização de informações -Raciocínio lógico
133	Professor: Turma, por favor. O grupo da Indianara irá fazer a previsão para a segunda queda.		
134	Indianara: Desprezando a resistência do ar, o tempo de queda será igual.		-Previsão -Explicação
135	Professor: Agora vamos ouvir a previsão do grupo da Patrícia.		
136	Patrícia: A esfera pequena chegará primeiro que a grande.		-Previsão
137	Professor: Agora vamos ouvir a previsão do grupo do Carlos (grupo aqui transcrito)		
138	Carlos: Elas vão cair ao mesmo tempo.		

139	Lays: É, independente da diferença das massas dos corpos.		
140	Professor: Então há previsões de que a maior cairá primeiro, a menor primeiro, as duas ao mesmo tempo.		
141	Vinícius (outro grupo): A grande cairá primeiro por causa da sua massa e tamanho, porém...		-Previsão -Explicação
142	Professor: Vamos observar o vídeo.	Professor reproduz o vídeo várias vezes e exibe a Imagem Estroboscópica.	
143	Marcos: Chega junto.		
144	Lays: Mas aí eu quero saber, tem ou não resistência? Cara, tem que ter alguma diferença. As duas foram feitas no mesmo lugar!		-Serição de informações -Raciocínio proporcional
145	Carla: Cara, olha só, despreza a resistência do ar.	Epistemologia.	-Organização de informações -Classificação de informações
146	Lays: Não, não tem como desprezar a resistência do ar. Como? Só se for no vácuo! Eu acho que ele soltou a primeira bolinha em instantes diferentes. No primeiro vídeo. A bolinha foi solta em instante diferente.		-Raciocínio lógico -Levantamento de hipóteses
147	Carla: Por quê?		
148	Lays: As duas experiências foram feitas no mesmo local, com resistência do ar, porque se não fosse a resistência do ar seria no vácuo. Tem a força da gravidade atuando e chegaram no mesmo intervalo de tempo. Então ele soltou a bolinha no primeiro vídeo antes.		-Explicação -Raciocínio lógico -Organização de informações

149	Marcos: A grande vai chegar primeiro porque ela é maior. Mas elas vão chegar no mesmo instante.	Diferença entre os diâmetros.	-Raciocínio proporcional
150	Carlos: Cara, tá maluco!		
151	Marcos: Olha só isso aqui (diâmetro com as mãos) é maior que isso aqui (diâmetro com as mãos). Mas elas estão juntas, como esse aqui é maior, eles vão chegar no mesmo intervalo de tempo só que esse aqui vai bater primeiro.	Refuta a hipótese das diferenças entre os diâmetros.	-Raciocínio proporcional -Explicação
152	Professor: Lays, fala pra turma.	Professor passa a palavra à Lays	
153	Lays: O vídeo, ele foi feito no mesmo lugar. Os dois, das duas análises. Eu acho que, isso é uma regra, independente das massas as bolinhas vão alcançar o chão no mesmo intervalo de tempo. Eu acho que a diferença que deu no vídeo anterior foi que o senhor (professor) soltou uma bolinha um instante depois do outro. Porque foram feitas no mesmo lugar, sem... não foi? Tem gravidade do ar...		-Organização de informações -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional -Justificativa -Explicação
154	Carla: Gravidade e resistência.		-Classificação de informações
155	Lays: Tem a resistência do ar. Então só pode ser isso.		-Explicação
156	Professor: Existe alguma forma de comprovar nessa primeira fotografia que eu não consegui abandoná-las simultaneamente?		
157	Lays: Posição?		-Levantamento de hipótese
158	Professor: Pelas distâncias?		
159	Lays: Sim.		
160	Professor: Você quer dizer essas distâncias?	Professor aponta para as	

		distâncias percorridas em intervalos de tempo correspondentes.	
161	Bianca (aluna de outro grupo): Não, assim oh! Você vê que os espaços vão aumentando gradativamente. Tanto da direita quanto da esquerda. São iguais. Daí você percebe que...	Aluna vai à tela de projeção.	-Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional -Justificativa -Explicação
162	Carla: Você soltou uma primeiro que a outra.	Prova baseada em dados.	-Justificativa
163	Professor: Olhem, o Cristiano está fazendo uma consideração importante aqui.		
164	Cristiano: Temos que levar em consideração que como as esferas são uma maior do que a outra, logicamente os espaços serão um pouco menores.		-Organização de informações -Justificativa
165	Lays: Sim, mas se você for observar no segundo vídeo isso acontece. As esferas têm massas diferentes mas elas estão no mesmo instante. Então acho que não aplica.	Larissa refuta Cristiano.	-Explicação -Teste de hipótese
166	Professor: Alguém quer falar mais alguma coisa?		
167	Professor: Então vocês concluíram que aqui o professor não foi simultâneo. E como comprovar que nessa outra aqui o professor foi simultâneo?		
168	Bianca: Pela simetria?		-Explicação
169	Professor: Ok, então vamos para a atividade 3. Agora nós vamos abandonar a esfera pequena e a média. Vocês querem fazer uma previsão de como será o movimento delas?		

170	Lays: Não.		
171	João: Por que não?		
172	Lays: Porque não vai mudar nada!		
173	Professor: Turma, quem quer dizer alguma coisa sobre a queda dos corpos?		
174	Carlos: Vai acontecer a mesma coisa.	Tentativa de generalização	-Previsão
175	Lays: Eu acho que é uma lei. Tem uma lei que se aplica.		-Raciocínio proporcional
176	Professor: Qual lei?		
177	Lays: Eu não sei qual é.		
178	Carla: Eu não sei se exatamente isso, mas dois corpos de mesma massa tendem a chegar ao chão no mesmo instante de tempo.	Formulação de generalização.	-Explicação
179	Carlos: Mas as massas são diferentes	Refutação à generalização.	-Organização de informações
180	Carla: Mas ele perguntou a lei		
181	Lays: Mas o nome da lei eu não sei. Lei gravitacional?		
182	Professor: assistamos ao vídeo.	Nesse vídeo a esfera mais pesada e maior é abandonada ligeiramente antes.	
183	Marcos: Não falei que a grande ia cair primeiro!		
184	Lays: Calma, tem a foto estroboscópica ainda.		
185	Marcos: Mas dá pra ver no vídeo.		
186	Carlos: Tá visível.		
187	Lays: Ah não, tem alguma coisa errada! Cara, olha aqui, pega a imagem. A bolinha de cá foi solta mais fácil. Olha a mão!	Utilização de provas para refutar a observação.	-Organização de informações
188	Professor: Fala Lays.		
189	Lays: Se vocês observarem a imagem que ele deu aqui na folha (no Roteiro) você vê que a mão dele já está		-Explicação -Justificativa -Teste de hipótese

	aberta quando começa a soltar. Então é a mesma coisa, as bolinhas não foram soltas simultaneamente.		
190	Professor: Concordam pessoal?		
191	Lays: Por isso, se você ver as imagens da atividade 3 e da 2 estão iguais. Por isso que deu errado. E a primeira deu certo, porque na primeira a mão está fechada na hora da foto. E nas outras duas uma mão está fechada e a outra aberta.	Persistência na ideia de resistência do ar	-Classificação de informações
192	Professor: Eu quero saber se a lei da Carla é válida ou não é?		
193	Lays: Sim, é a lei da gravidade. Mas essa lei só se aplica se você soltar os corpos ao mesmo tempo. Porque se você não soltar vai acontecer o que aconteceu ali, uma vai chegar primeiro que a outra.	Condições de contorno.	-Explicação -Raciocínio lógico
194	Professor: Isso é condição primordial, certo?		
195	Lays: Sim, é uma regra, mas há exceções.		-Explicação -Organização de informações

# APÊNDICE B – ARTIGO RESULTANTE DA PRIMEIRA PARTICIPAÇÃO EM EVENTO NACIONAL DURANTE O DOUTORADO: XXI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, UBERLÂNDIA, 2015

---

## UMA PROPOSTA DE ENSINO DOS CONCEITOS DE MECÂNICA ATRAVÉS DE FOTOGRAFIAS ESTROBOSCÓPICAS DE MOVIMENTOS CORPORAIS

Marco Adriano Dias<sup>1,2</sup>, Deise Miranda Vianna<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal do Rio de Janeiro, marco.dias@ifrj.edu.br

<sup>2</sup> Instituto Oswaldo Cruz/Programa de Ensino de Biociências e Saúde

<sup>3</sup> Instituto de Física/UFRJ, deisemv@if.ufrj.br

### Resumo

*Há mais de cinquenta anos a utilização de fotografias estroboscópicas para medidas de posição e tempo do movimento dos corpos vem sendo sugerida para as aulas experimentais de mecânica como alternativa ao laboratório formal de física. Atualmente produz-se esse tipo de imagem a partir de um vídeo digital de um movimento qualquer, utilizando como recurso uma câmara filmadora simples, de celular, por exemplo, e um PC com dois softwares gratuitos: o VirtualDub e o ImageJ. Cientes da importância de um ensino de física que possibilite melhorar a cultura científica dos nossos alunos, neste trabalho apresentamos uma proposta de utilização das Fotografias Estroboscópicas Digitais (FED) para o estudo de conceitos físicos de mecânica, contextualizados no movimento dos próprios alunos durante a prática de desportos. A utilização desse tipo de imagem como material didático permite o desenvolvimento de atividades investigativas nas aulas formais de física para a solução de problemas reais, como, por exemplo, melhorar a marca de um atleta. Apresentamos como exemplo o movimento de chute de uma bola na modalidade futsal. Essa proposta é, atualmente, objeto de pesquisa sobre as potencialidades da utilização das FED como material didático para a promoção do aprendizado científico nas aulas formais de mecânica no Ensino Médio, no âmbito do Programa de Pós Graduação em Ensino de Biociências e Saúde do Instituto Oswaldo Cruz no Rio de Janeiro. Apresentamos alguns resultados já obtidos com alunos de uma escola pública do estado do Rio de Janeiro.*

**Palavras-chave:** Fotografia Estroboscópica, Atividade Investigativa, CTS

### Introdução

A utilização de Fotografias Estroboscópicas como recurso para o desenvolvimento de atividades experimentais no estudo do movimento vem

sendo proposta desde a época dos grandes projetos de ensino de Ciências. O PSSC (*Physical Science Study Committee*, 1967) e o projeto Harvard (Holton, 1985) apresentam em suas propostas esse tipo de recurso. Entretanto, os movimentos que podiam ser estudados com essa estratégia eram aqueles reproduzidos no laboratório fotográfico, pois a produção das fotografias necessitava de controle de luminosidade e de uma lâmpada estroboscópica.

Com o advento das novas tecnologias da era digital, essas fotografias passaram a ser desenvolvidas a partir de um vídeo e de um PC com softwares gratuitos. Com isso, o planejamento de atividades didáticas utilizando as Fotografias Estroboscópicas Digitais (FED) pode contar com a possibilidade de propor o estudo de movimentos reais e do cotidiano dos alunos.

A utilização dessas fotografias foi proposta por Dias, Barros e Amorim (2009). Em 2011 foi apresentada a dissertação de mestrado que mostrou que a técnica de produção das FED pode ser utilizada para estudar movimentos de queda com resistência do ar (Dias, 2011). Essa dissertação gerou um produto para que o professor interessado pudesse se apropriar para a elaboração das suas atividades de laboratório.

### **Exemplo de aplicação**

Embora o potencial da utilização das FED no desenvolvimento das atividades de laboratório ainda não tenha sido estudado sistematicamente, apresentaremos a seguir alguns resultados obtidos numa aula para estudar a queda dos corpos numa escola pública estadual localizada no município de Nilópolis-RJ. Na ocasião os alunos foram divididos em grupos na própria sala de aula; o problema foi caracterizado e o vídeo da queda que produziu a FED em questão (Figura 1) foi mostrado para a turma. Dentre todas as perguntas presentes no Roteiro da atividade, escolhemos uma em particular para colocar aqui dois exemplos de respostas. A pergunta em questão foi: Descreva o movimento de queda da esfera.



Figura 1 – Fotografia estroboscópica de uma esfera em queda livre.

Pergunta: Descreva o movimento de queda da esfera.

Respostas escolhidas (representam dois padrões de respostas dominantes na turma)

Padrão 1 de resposta

Resposta:

A bolinha em repouso, que é jogada de cima dada posição inicial, desloca-se com velocidade que aumenta, com a mesma aceleração constantemente. Isso se deve ao fato da presença de gravidade, que faz com que a bola seja puxada para baixo, numa velocidade que vai aumentando.

Padrão 2 de resposta

Resposta:

A esfera está no tempo de aceleração, porque conforme a velocidade passa a posição é menor. É o repouso da bola, isto, inicialmente é o deslocamento muito conforme a bolinha vai caindo e a gravidade muda conforme o tempo. varia com

Como podemos ver através das respostas dadas acima, esse material pode ser utilizado para contribuir no aprendizado dos alunos. Sua eficácia em promover o debate e a construção de conhecimento, entretanto, ainda é objeto de pesquisa. Escolhemos propor, para isso, que os movimentos estudados

pelos alunos sejam os seus próprios, durante a prática de desportos. Dessa forma proporemos atividades investigativas com enfoque na utilização da Ciência e da Tecnologia para a solução de um problema concreto para um atleta: melhorar as suas marcas.

### **Proposta de investigação das potencialidades da FED para o aprendizado**

A nossa investigação tem como questão central verificar se a utilização das FED como alternativa ao laboratório formal para o estudo do movimento contribui para o aprendizado dos alunos da educação básica.

A busca por esta resposta levará em consideração algumas importantes questões:

i) Estudar o movimento dentro de um contexto: com a técnica de produção de FED, todo corpo em movimento pode ser filmado e, posteriormente, esse vídeo transformado num autêntico registro do seu movimento, que é a própria FED (Dias, Barros e Amorim, 2009). Isso abre muitas possibilidades, entretanto, escolhemos filmar movimentos durante a prática esportiva dos próprios alunos na escola técnica federal, na região do Grande Rio onde será realizada a pesquisa.

ii) Ao estudar o seu próprio movimento através da observação das FED em diferentes momentos acreditamos que haverá maior envolvimento dos alunos no processo de aprendizagem. A discussão de conceitos como rapidez, velocidade, aceleração, alcance, trajetória, dentre outros, relacionados ao seu próprio desempenho, ou de um representante do grupo propiciará um ambiente estimulante para o aprendizado. Pensar em estratégias para melhorar a marca alcançada, como aperfeiçoar seu torque, sua alavanca, sua rapidez de rotação, a diminuição do tempo de reação, tudo isso estimulará a discussão entre eles. As performances alcançadas poderão ser comparadas entre os grupos, comparadas com índices de atletas profissionais e, mais uma vez, poderão ocorrer debates acerca das contribuições que a ciência e a tecnologia pode dar para a melhora no desempenho dos atletas.

É nesse ambiente de aprendizado que pretendemos verificar se a utilização das FED num curso de mecânica pode ser uma boa opção para o entendimento de fenômenos que só seriam observados em atividades formais de laboratório. Nesse ambiente, o professor tem o papel de mediador entre a cultura científica, que ele representa, e a cultura do cotidiano, representada pelos estudantes, no plano social da sala de aula (Cappechi, 2004) e os diálogos dos

alunos serão registradas para análise, considerando-se suas intervenções durante discussões com as argumentações visando a construção de explicações coletivas para determinado fenômeno relacionado ao movimento.

A seguir apresentamos dois exemplos de FED de modalidades esportivas para serem usadas num contexto de atividades investigativas. Nesse caso foram escolhidos dois alunos para que chutassem uma bola tal que eles conseguissem imprimir a maior velocidade possível a ela. Percebe-se através dos deslocamentos em cada intervalo de tempo que a rapidez da bola na Figura 4 é maior que a da Figura 2. Nas Figuras 3 e 5, as tomadas frontais dos movimentos corporais mostram que há diferenças importantes no movimento de rotação corporal de cada aluno que culminou nos chutes. Como mostra a tomada frontal (Figura 5) o aluno que obteve um melhor rendimento fez um movimento de rotação com seu centro de gravidade deslocado para seu lado esquerdo. Com isso ele aumentou o comprimento efetivo da alavanca feita com sua perna, o que culminou numa maior velocidade linear do seu pé direito durante a rotação e, por fim, uma maior transferência de momento linear para a bola, em comparação com o aluno que obteve menor rendimento. Conceitos como alavanca, torque, centro de gravidade, velocidade angular e colisões podem ser explorados com essa atividade.



**Figura 2:** *Fotografia estroboscópica do movimento de uma bola após ser chutada por uma aluna. As distâncias entre duas posições consecutivas são proporcionais à velocidade da esfera.*



**Figura 3:** Tomada frontal do movimento realizado pela aluna durante o movimento de chutar a bola.



**Figura 4:** Fotografia estroboscópica do movimento de uma bola após ser chutada por um aluno nas mesmas condições que a figura anterior. As distâncias entre duas posições consecutivas são proporcionais à velocidade da esfera, que, nesse caso é quase o dobro da figura anterior.



**Figura 5:** Tomada frontal do movimento realizado pelo aluno durante o movimento de chutar a bola. Os aspectos relacionados ao movimento visto pelas tomadas frontais indicam o que se precisa melhorar para que a velocidade da bola aumente.

### **Considerações Finais**

Nossa previsão é confirmar que quando uma disciplina de ciências é ensinada através de atividades investigativas, com o conteúdo contextualizado com questões do cotidiano do aluno, que envolvem a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade, o processo de construção se dá através do diálogo entre os pares e com o problema apresentado. Esperamos confirmar também que para isso não é necessário um espaço formal de laboratório, pois os aspectos inerentes à investigação dos fenômenos, tais como as hipóteses levantadas para as questões propostas, a capacidade de predição do que poderá ocorrer e o desenvolvimento do senso crítico, proporcionado os debates e argumentações entre eles podem ser trabalhados no próprio espaço formal da sala de aula e que, no caso da mecânica, as FED são capazes de criar essa atmosfera de construção do conhecimento.

A confirmação do potencial das FED para o ensino da mecânica possibilitará a inclusão dessa estratégia de ensino no cotidiano das atividades de laboratório. Há possibilidade de se produzir um grande número de FED de movimentos do cotidiano e disponibilizar, juntamente com os roteiros de utilização. Com isso, os professores que se interessem em desenvolver atividades investigativas com seus alunos poderão se apropriar desse material, que poderá ser distribuído online, e planejar suas aulas.

## Referências

CAPECCHI, Maria Candida Varone de Moraes. *Argumentação numa aula de física*. In Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática. Ana Maria Pessoa de Carvalho (org.). Pioneira Thompson Learning. São Paulo, 2004.

DIAS, Marco Adriano.; BARROS, Susana de Sousa.; AMORIM, Hélio Salim. *Produção de fotografias estroboscópica sem lâmpada estroboscópica*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Vol. 26, No 3 (2009)

DIAS, Marco Adriano. *Utilização de fotografias estroboscópicas digitais para o estudo da queda dos corpos*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011. Dissertação de mestrado. 92 p. Dissertação (Mestrado). Mestrado Profissional em Ensino de Física. Instituto de Física. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011

HOLTON, Gerald, RUTHERFORD, F. James., FLETCHER, G. Watson., Projecto Física, unidade 1, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1985.

PSSC - PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE.. Física parte III. São Paulo: EDART, 1967.

# APÊNDICE C – ARTIGO RESULTANTE DA PRIMEIRA PARTICIPAÇÃO EM EVENTO INTERNACIONAL DURANTE O ESTÁGIO DOUTORADO NO EXTERIOR: XVI ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIAS NA UNIVERSIDADE DE LISBOA, 2015.

---

## UMA PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA ATRAVÉS DA MODELAGEM DE IMAGEM: FOTOGRAFIAS ESTROBOSCÓPICAS DIGITAIS E VIDEOANÁLISE

Marco Adriano Dias<sup>1,2</sup>; Deise Miranda Vianna<sup>2,3</sup>; Paulo Simeão Carvalho<sup>4</sup>

*1 Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ); 2 Instituto Oswaldo Cruz/Programa de Ensino de Biociências e Saúde (EBS/FIOCRUZ); Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IF/UFRJ); 4 Universidade do Porto (UP).*

**Modalidade da apresentação:** Projetos de Escola – Experiências de professores em ambiente formal ou não formal

### Resumo

Cientes da importância de um ensino de física que possibilite melhorar a cultura científica dos nossos alunos, apresentamos neste trabalho uma proposta didática que integra duas possibilidades de desenvolvimento de atividades interativas fundamentadas a partir da modelagem de imagem: a utilização de Fotografias Estroboscópicas Digitais (FED) e a vídeoanálise. Serão reportados os resultados obtidos com alunos do Ensino Médio, onde a técnica foi utilizada para o estudo dos movimentos corporais dos próprios alunos, envolvendo-os, assim, em seu próprio aprendizado.

Atualmente essa proposta é objeto de investigação de tese de doutoramento no âmbito do Programa de Pós Graduação em Ensino de Biociências e Saúde da Fundação Oswaldo Cruz, Instituição brasileira de pesquisa na área de saúde pública, numa colaboração entre a Universidade do Porto (UP), a Escola de Biociências e Saúde do Instituto Oswaldo Cruz (EBS/FIOCRUZ), a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ).

**Palavras-Chave:** Atividade Investigativa, Enfoque CTS, Fotografia Estroboscópica Digital (FED), vídeoanálise, modelagem de imagem.

### Abstract

Aware of the importance of physical education that makes it possible to improve the scientific culture of our students, we present in this paper a didactic proposal that integrates two possibilities for development of interactive activities based from image modeling: the use

of the Digital Stroboscopic Photographie and the video análise. Are reported the results obtained in a high schools students, where the technique was used for the study of body movements of the students themselves, thus involving them in their own learning.

Currently this proposal is the subject of Ph.d. thesis research within the framework of the Post Graduation Program in Biosciences and Health Education of the Fundação Oswaldo Cruz, Brazilian Research Institution in the area of public health, a collaboration between the University of Porto (UP), the School of Biosciences and Health of the Instituto Oswaldo Cruz (EBS/FIOCRUZ), the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ) and Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ).

Keywords: Inquire activity, CTS, Digital Stroboscopic Photography (DSP), video análise, image modeling.

## INTRODUÇÃO

A utilização da modelagem de imagem para o estudo dos movimentos tem seu marco inicial na proposta de utilização das Fotografias Estroboscópicas como recurso para o desenvolvimento de atividades experimentais no estudo da mecânica, e vem sendo proposta desde a época dos grandes projetos de ensino de Ciências. O PSSC (*Physical Science Study Committee*, 1967) e o projeto Harvard (Holton, 1985) apresentam em suas propostas esse tipo de recurso. Na época, os movimentos que podiam ser estudados com essa estratégia didática eram aqueles reproduzidos no laboratório fotográfico, pois a produção das fotografias necessitava de controle de luminosidade e de uma lâmpada estroboscópica.

Com o advento das novas tecnologias da era digital, a modelagem de imagem passou a contar com a possibilidade de utilização do vídeo digital para o estudo de um movimento qualquer, seja com a produção de uma Fotografia Estroboscópica Digital, pois essas imagens passaram a ser desenvolvidas a partir de um vídeo e de um PC com softwares gratuitos, ou com a videoanálise também a partir de programas gratuitos, como o Tracker ([www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/](http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/) - acessado em 30/03/2015). Com isso, o planejamento de atividades didáticas utilizando a modelagem de imagem, Fotografias Estroboscópicas Digitais e a vídeoanálise, pode contar com a possibilidade de propor estudos de movimentos reais e do cotidiano dos alunos.

Neste trabalho apresentamos um exemplo de atividade de investigação proposta aos alunos de uma Escola de Ensino Médio da cidade do Rio de Janeiro, Brasil, num contexto de uma modalidade esportiva, o chute a uma bola de futebol, com o objetivo de levar os alunos a construir conhecimento a partir da comparação entre dois chutes, visivelmente com velocidades diferentes. Para isso foram gravados vídeo dos alunos em ação e analisadas as FED resultantes. A utilização das FED foi proposta por Dias, Barros e Amorim (Dias, 2009). Em 2011 foi apresentada a dissertação de mestrado que mostrou que a técnica de produção das FED pode ser utilizada para estudar movimentos de queda com resistência do ar (Dias, 2011). Essa dissertação gerou um produto para que o professor interessado pudesse se apropriar para a elaboração das suas atividades de laboratório.

### **1.1 Objetivos da atividade: utilizar a modelagem de imagem como alternativa ao laboratório formal**

A nossa proposta didática, e também de investigação, tem como questão central verificar se a utilização da modelagem de imagem como material didático alternativo ao laboratório formal para o estudo do movimento contribui para o aprendizado dos alunos da educação básica.

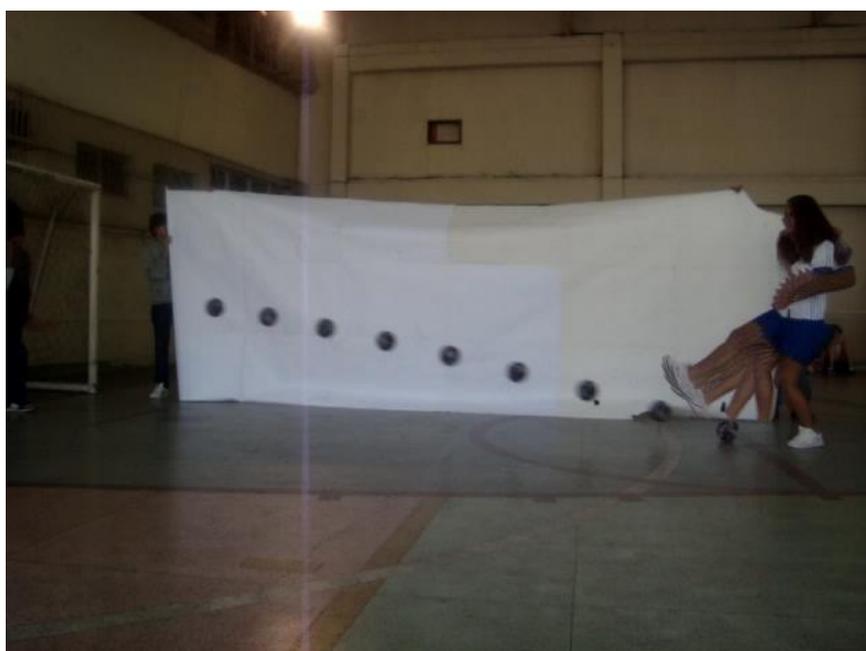
A busca por esta resposta levará em consideração algumas importantes questões:

i) Estudar o movimento dentro de um contexto: com a modelagem, todo corpo em movimento pode ser filmado e, posteriormente, esse vídeo transformado num autêntico registro do seu movimento. Isso abre muitas possibilidades de movimentos a serem estudados, entretanto, escolhemos filmar movimentos sugeridos pelos próprios alunos.

ii) Ao estudarem movimentos escolhidos por eles mesmos, acreditamos que haverá maior envolvimento dos alunos no processo de aprendizagem. É nesse ambiente de aprendizado que pretendemos verificar se a utilização da modelagem num curso de mecânica pode ser uma boa opção para o entendimento de fenômenos que só seriam observados em atividades formais de laboratório. Nesse ambiente, o professor tem o papel de mediador entre a cultura científica, que ele representa, e a cultura do cotidiano, representada pelos estudantes, no plano social da sala de aula (Cappechi, 2004). Para a investigação de tese, os diálogos dos alunos serão registrados para análise, considerando-se suas intervenções durante discussões com as argumentações visando a construção de explicações coletivas para determinado fenômeno relacionado ao movimento.

### **1.2 Descrição da atividade: análise de um chute a uma bola de futebol**

O exemplo apresentado se refere à atividade de chutar uma bola de tal forma que a mesma atinja a maior velocidade possível. Foram escolhidos dois alunos aleatoriamente para chutarem a bola. Seus movimentos foram filmados e as imagens utilizadas para análise. Apresentamos a seguir as Fotografias Estroboscópicas Digitais dos dois movimentos. Percebe-se através dos deslocamentos em cada intervalo de tempo, que estão normalizados, que a rapidez da bola na Figura 2 é maior que a da Figura 1.



**Figura 1:** *Fotografia estroboscópica do movimento de uma bola após ser chutada por uma aluna. As distâncias entre duas posições consecutivas são proporcionais à velocidade da esfera.*



**Figura 2:** *Fotografia estroboscópica do movimento de uma bola após ser chutada por um aluno nas mesmas condições que a figura anterior. As distâncias entre duas posições consecutivas são proporcionais à velocidade da esfera, que, nesse caso é quase o dobro da figura anterior.*

### 1.3 Reflexão do professor

Com a utilização da modelagem de imagem para a elaboração de estratégias didáticas que valorizam o contexto dos alunos e fomentam um aprendizado a partir de um processo de investigação na sala de aula, verificamos que há um grande envolvimento dos alunos no seu aprendizado. Com um enfoque voltado para as questões que relacionam a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade (CTS) o diálogo argumentativo ocorre e indica que há possibilidade de estar ocorrendo aprendizagem científica.

A partir dessa vivência enquanto professores, nossa tese visa confirmar que quando uma disciplina de ciências é ensinada através de atividades investigativas, com o conteúdo contextualizado com questões do cotidiano do aluno, que envolvem a CTS, o processo de construção se dá através do diálogo entre os pares e com o problema apresentado. Esperamos confirmar também que para isso não é necessário um espaço formal de laboratório, pois os aspectos inerentes à investigação dos fenômenos, tais como as hipóteses levantadas para as questões propostas, a capacidade de predição do que poderá ocorrer e o desenvolvimento do senso crítico, proporcionado os debates e argumentações entre eles podem ser trabalhados no próprio espaço formal da sala de aula e que, no caso da mecânica, a modelagem de imagem é capaz de criar essa atmosfera de construção do conhecimento.

A confirmação do potencial da modelagem de imagem para o ensino da física possibilitará a inclusão dessa estratégia de ensino no cotidiano das atividades de laboratório. Há possibilidade de se produzir um grande número de material de movimentos do cotidiano e disponibilizar, juntamente com os roteiros de utilização. Com isso, os professores que se interessem em desenvolver atividades investigativas com seus alunos poderão se apropriar desse material, que poderá ser distribuído online, e planejar suas aulas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CAPECCHI, Maria Candida Varone de Moraes. Argumentação numa aula de física. In Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática. Ana Maria Pessoa de Carvalho (org.). Pioneira Thompson Learning. São Paulo, 2004.

DIAS, Marco Adriano.; BARROS, Susana de Sousa.; AMORIM, Hélio Salim. Produção de fotografias estroboscópica sem lâmpada estroboscópica. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Vol. 26, No 3 (2009)

DIAS, Marco Adriano. Utilização de fotografias estroboscópicas digitais para o estudo da queda dos corpos. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011. Dissertação de mestrado. 92 p. Dissertação (Mestrado). Mestrado Profissional em Ensino de Física. Instituto de Física. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011

HOLTON, Gerald, RUTHERFORD, F. James., FLETCHER, G. Watson., Projecto Física, unidade 1, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1985.

PSSC - PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE.. Física parte III. São Paulo: EDART, 1967.

# APÊNDICE D – ARTIGO RESULTANTE DA SEGUNDA PARTICIPAÇÃO EM EVENTO NACIONAL DURANTE O DOUTORADO: XXII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, SÃO CARLOS, 2017

---

## CONTRIBUIÇÕES DAS IMAGENS ESTROBOSCÓPICAS E DA VIDEOANÁLISE PARA INTERVENÇÕES DIDÁTICAS DE INVESTIGAÇÃO

Marco Adriano Dias<sup>1,2</sup>, Deise Miranda Vianna<sup>2,3</sup>, Paulo Simeão Carvalho<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal do Rio de Janeiro/IFRJ, marco.dias@ifrj.edu.br

<sup>2</sup> Instituto Oswaldo Cruz/Programa de Pós-graduação em Ensino de Biociências e Saúde

<sup>3</sup> Instituto de Física/Universidade Federal do Rio de Janeiro, deisemv@if.ufrj.br

<sup>4</sup> Faculdade de Ciências/Universidade do Porto, psimeao@fc.up.pt

### Resumo

*Há muito se discute a importância das atividades práticas no ensino de física para a aprendizagem científica e para o desenvolvimento de habilidades relativas a uma postura investigativa nos alunos. Para isso os professores utilizam, dentre outros recursos, vídeos em suas aulas. As Imagens Estroboscópicas e a Videoanálise são recursos didáticos produzidos a partir de vídeos e, com eles, os movimentos dos corpos podem ser estudados e modelados a partir do software livre Tracker. Nesse contexto, apresentamos dois exemplos de intervenções didáticas de investigação, que utilizam como referencial as Sequências de Ensino Investigativas (SEI) e a metodologia interativa POE (Prever-Observar-Explicar) para possibilitar uma aprendizagem participativa e interativa aos alunos. Trata-se do movimento de um martelo lançado obliquamente com rotação, para o qual a proposta envolve o conceito do centro de massa, e do movimento de um atleta da modalidade olímpica skateboard executando a manobra elementar ollie dessa modalidade, que é compreendida a partir das leis de Newton.*

**Palavras-chave:** Imagem Estroboscópica; Videoanálise; Física dos Esportes

### **Imagens Estroboscópicas e Videoanálise: a Modelagem de fenômenos a partir de imagens**

A origem das Imagens Estroboscópicas está nas antigas Fotografias Estroboscópicas que foram propostas no material didático do *Physical Science Study Committee* (PSSC, 1967). Essas fotografias, também chamadas de fotografias de múltipla exposição, eram produzidas em laboratório fotográfico a partir do registro numa única imagem das posições de um corpo em movimento em diversos instantes

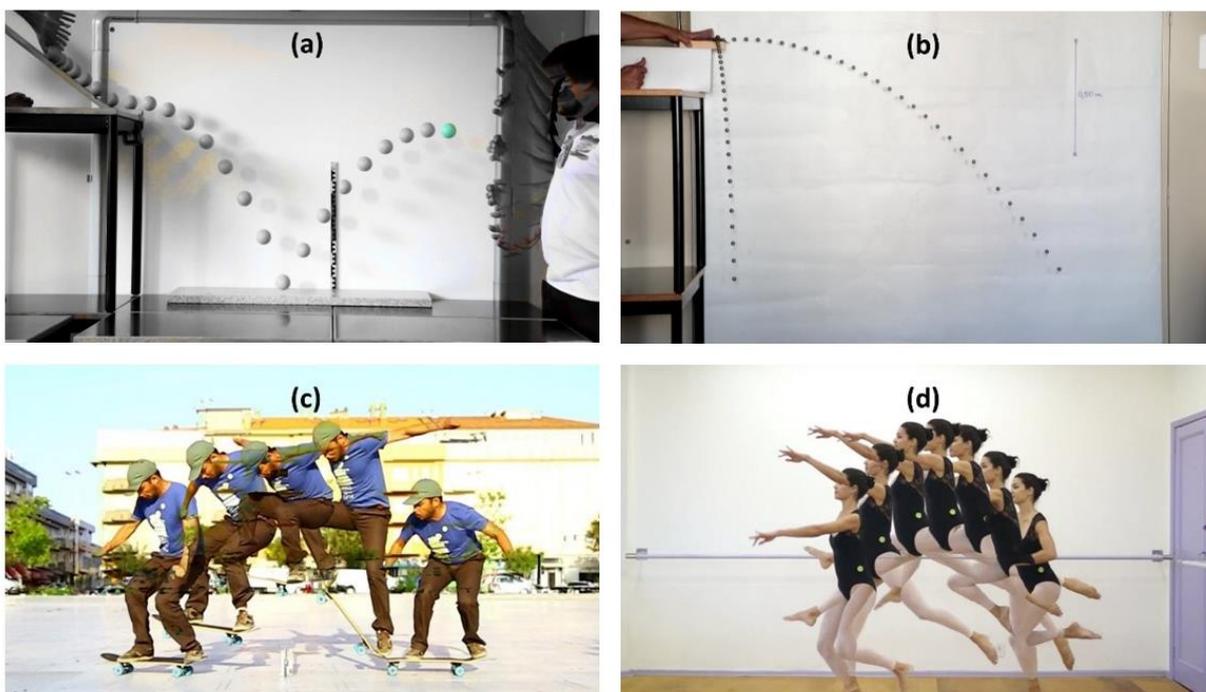
ao longo da sua trajetória. Elas serviram de material didático para um estudo qualitativo e quantitativo dos movimentos, possibilitando o desenvolvimento de aulas em que os alunos desenvolviam habilidades inerentes ao laboratório didático, como a realização de medidas, organização de dados em tabelas e gráficos, busca de regularidades e construção de modelo matemático.

Com o advento da imagem digital, a produção de vídeos foi popularizada e, com ela, a difusão de aplicativos para editar esses vídeos passou a integrar as bases de aplicativos residentes nos PC. Conforme foi apresentado por Dias, Barros e Amorim (2009), a partir de um vídeo digital e um PC com aplicativos gratuitos, podem ser produzidas as Fotografias Estroboscópicas Digitais. Com essa técnica, movimentos do cotidiano, que ocorrem fora do laboratório fotográfico, podem se transformar em material didático, abrindo, assim, um amplo campo de possibilidades didáticas de contextualização para o ensino da mecânica (DIAS, BARROS e AMORIM, 2011).

A Videoanálise consiste na utilização de vídeos de corpos em movimento para um estudo sistemático, e foi proposta por Brown (2008) utilizando o software livre *Tracker* de sua autoria. Uma vez que o vídeo é importado para o *Tracker*, as posições do corpo em movimento são auferidas a partir do *mouse* e os dados de posição e instante são automaticamente organizados numa tabela, a partir da qual podem-se esboçar diversos gráficos e fazer ajustes lineares, parabólicos ou exponenciais.

Muitos pesquisadores têm utilizado essa ferramenta para descrever movimentos complexos, os quais antes do *Tracker*, eram difíceis de ser estudados empiricamente (Jesus e Barros, 2014; Jesus e Sazaki, 2015). Há ainda proposta de utilização da Videoanálise associada à utilização de modelagem computacional (Brown, 2008) para o estudo da acústica e da óptica (Rodrigues e Carvalho, 2014).

Assim, todo corpo em movimento pode ser filmado e, a partir do vídeo digital, são produzidas as Imagens Estroboscópicas (DIAS, BARROS e AMORIM, 2009) e feito um estudo sistemático com a Videoanálise (BROWN & COX, 2009). Neste trabalho, esses dois recursos são utilizados para o desenvolvimento de intervenções didáticas de investigação, numa metodologia de ensino investigativa e interativa de acordo com proposição de Sequências de Ensino Investigativas (SEI) de Carvalho (2013) e a metodologia interativa POE (WHITE & GUNSTONE, 1992). Exemplos de movimentos estudados com esses recursos são dados na figura 1.



**Figura 01:** (a) Imagem Estroboscópica de uma esfera abandonada de uma canaleta inclinada e lançada horizontalmente que colide com uma superfície de pedra; (b) Lançamento simultâneo de duas esferas, uma horizontalmente e outra verticalmente; (c) Manobra ollie da modalidade skateboard; (d) O salto Grand Jeté do ballet (figuras dos autores).

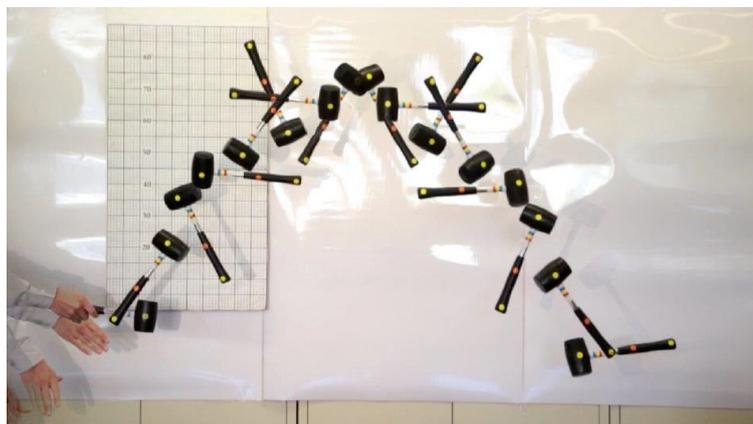
Assim, as Imagens Estroboscópicas e a Videoanálise são as ferramentas utilizadas como recurso didático no planejamento e operacionalização das intervenções didáticas de investigação. A primeira serve, por exemplo, para uma descrição fenomenológica do movimento, de maneira que a partir dela o professor pode propor um problema aos alunos, tal que eles utilizem a Videoanálise para solucionar, conforme proposto por Dias, Carvalho e Rodrigues (2016) e por Dias, Carvalho e Vianna (2016). Neste trabalho apresentamos dois exemplos de Intervenção Didática de Investigação. Trata-se do lançamento oblíquo com rotação de um martelo e do estudo de uma manobra *ollie*, na modalidade olímpica *skateboard*.

### **O Movimento de um Martelo lançado obliquamente com rotação**

O estudo do movimento de corpos extensos é de interesse prático e está presente na maioria dos currículos de física tanto na educação básica quanto no ensino superior. Para esse estudo, um conceito de fundamental importância é o conceito de centro de massa e, com a Videoanálise pode-se estudar experimentalmente o movimento dos corpos extensos e o comportamento de seus centros de massa.

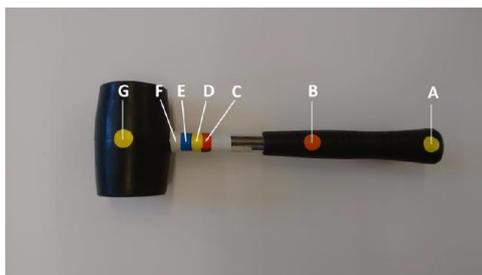
Dias, Carvalho e Rodrigues (2016) propuseram o estudo do movimento de um martelo lançado obliquamente com rotação fazendo uso da Modelagem de Imagem. Para isso, a proposta dos autores foi a apresentação do fenômeno por parte do professor para os alunos a partir de um vídeo do movimento do martelo ou da realização do lançamento na sala de aula tomando os devidos cuidados para evitar os riscos que essa ação pode provocar. Em seguida é exibida uma Imagem

Estroboscópica desse movimento e o professor, por exemplo, pode propor o Problema: existe alguma regularidade nesse movimento? A figura 2 é a Imagem Estroboscópica em questão.



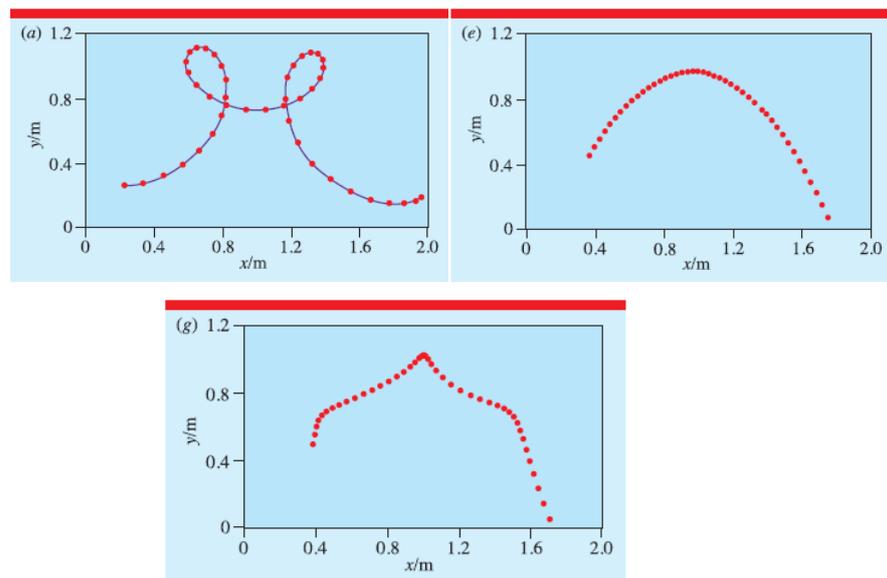
**Figura 02:** Imagem Estroboscópica do movimento de um martelo lançado obliquamente com rotação. O vídeo que gerou essa imagem foi produzido a uma taxa de captura de 20 quadros por segundo (figura dos autores).

Após a proposição do Problema os alunos têm oportunidade de formular suas hipóteses, buscarem regularidades aparentes, simetria no movimento e discutirem estratégias de como estudar sistematicamente o movimento do martelo. Nesse trabalho os autores apresentaram uma proposta que consiste em marcar diversos pontos sobre o martelo (figura 3) e, com a videoanálise, estudar as trajetórias de cada um deles (figura 4).



**Figura 03:** Pontos marcados sobre o corpo extenso do martelo. A partir da Videoanálise o movimento de cada um desses pontos foi estudado experimentalmente (figura dos autores).

Os pontos marcados sobre o martelo foram nomeados de A até G na sequência alfabética a partir da extremidade direita da figura 8. A partir do vídeo aberto no Tracker, suas trajetórias foram esboçadas graficamente e o resultado dos pontos A, E e G estão representados na figura 4.



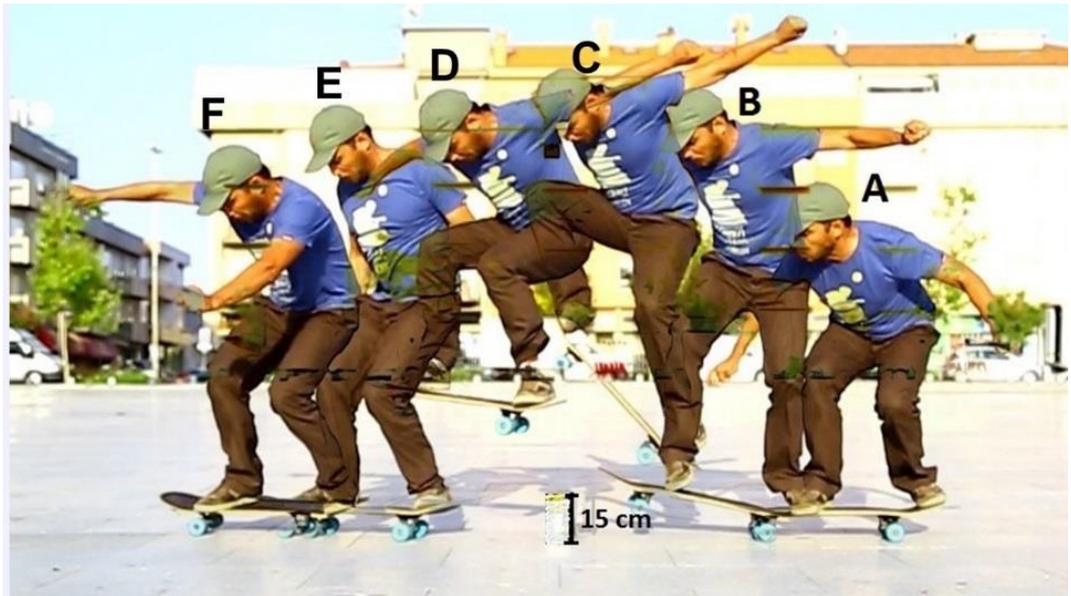
**Figura 04:** (a) Trajetória do ponto A situado em uma das extremidades do martelo; (e) Trajetória do ponto E; e (g) Trajetória do ponto G, na outra extremidade do martelo (figura dos autores).

Os resultados gráficos das trajetórias de cada ponto sobre o corpo do martelo permitem que se chegue a algumas conclusões, como por exemplo, de que há simetria no movimento de todos esses pontos, tendo o ponto médio de cada trajetória um eixo de simetria vertical, e de que a trajetória do ponto E é a que mais se assemelha visualmente com uma trajetória parabólica.

A ferramenta Tracker permite ainda que seja investigado se as marcações feitas com o Tracker na trajetória do ponto E são bem ajustáveis a uma parábola, o que indicaria ser ele o ponto mais próximo do centro de massa do martelo. É possível ainda fazer um ajuste linear no Tracker. A curva parabólica ajustada teve uma boa correlação com os pontos obtidos experimentalmente, e assim o valor da aceleração da gravidade obtido foi,  $g_L = 10,77 \text{ m/s}^2$ , ao passo que o valor padrão da aceleração da gravidade é  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , resultando numa discrepância de cerca de 10% que, para fins didáticos, é um ótimo resultado.

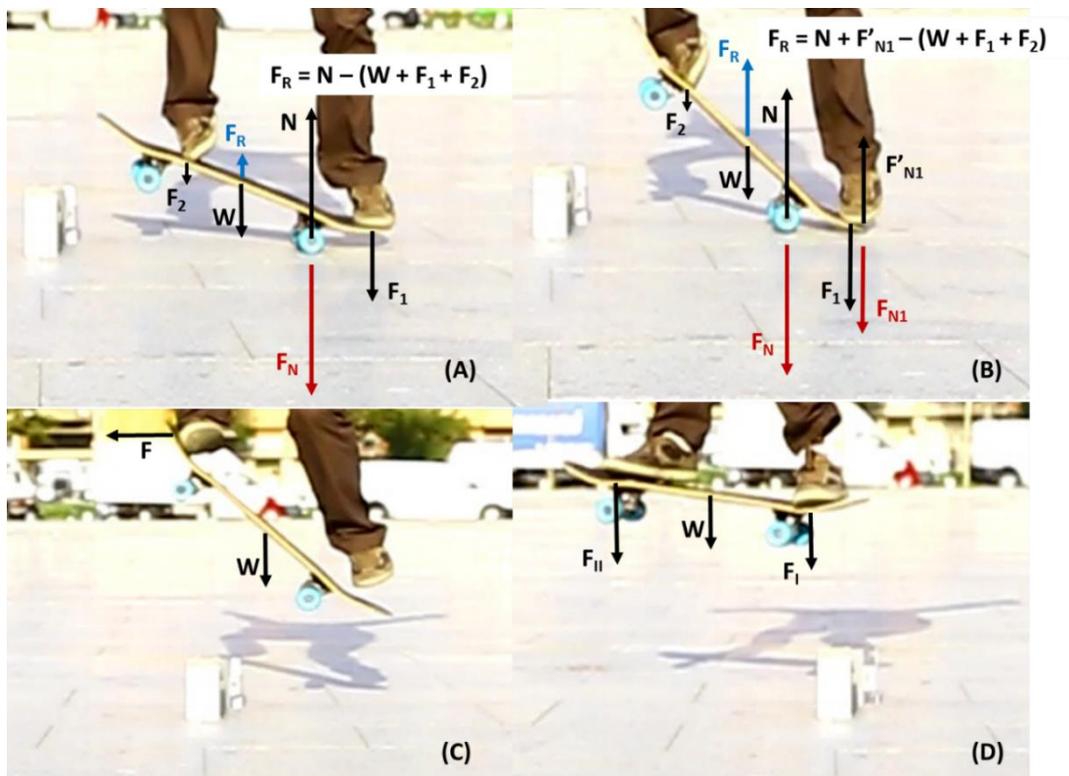
### **Ollie Trick no skateboarding: a Modelagem de Imagem ‘abrindo as portas’ da sala de aula**

Dias, Carvalho e Vianna (2016) deram um exemplo de como uma aula de física pode aproveitar os movimentos executados pelos alunos fora da escola como um contexto de ensino. Nesse trabalho sobre o *skateboarding*, o vídeo de uma manobra na qual o conjunto formado pelo skate e pelo skatista se desprende do chão, chamada *ollie*, passa a ser um material didático (figura 5). Os autores mostram como as leis de Newton podem ser o referencial teórico para a formulação de uma descrição fenomenológica do movimento.



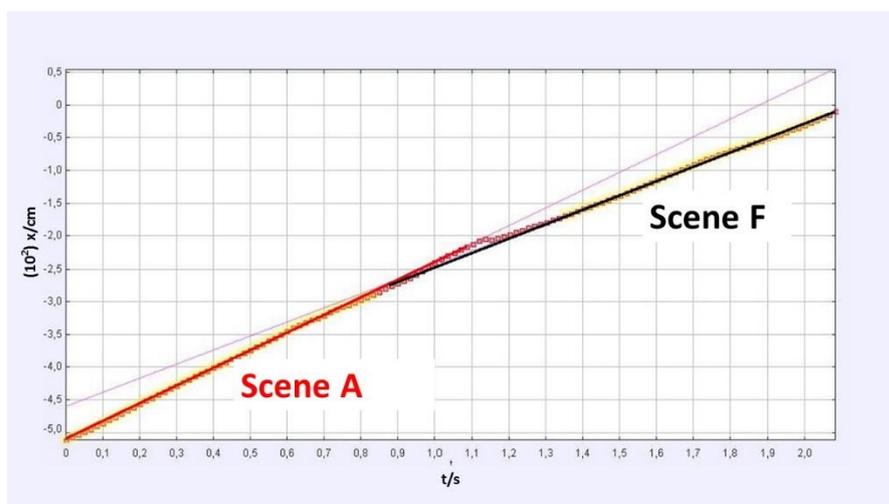
**Figura 05:** Imagem Estroboscópica da manobra ollie, movimento fundamental na modalidade skateboarding (figura dos autores)

Uma interessante proposição de problema para os alunos é que eles investiguem de que forma o atleta interage com o skate tal que ele salta com o skate “preso” aos seus pés. A figura 06 representa quatro instantes distintos durante a manobra e os respectivos diagramas de forças que permitem uma compreensão conceitual do movimento.



**Figura 06:** Descrição das forças que atuam sobre o skate em quatro instantes durante a execução da manobra ollie. As segunda e terceira leis de Newton podem ser referencial teórico para a descrição fenomenológica do movimento. Os diagramas de força são representados em cada etapa (figura dos autores).

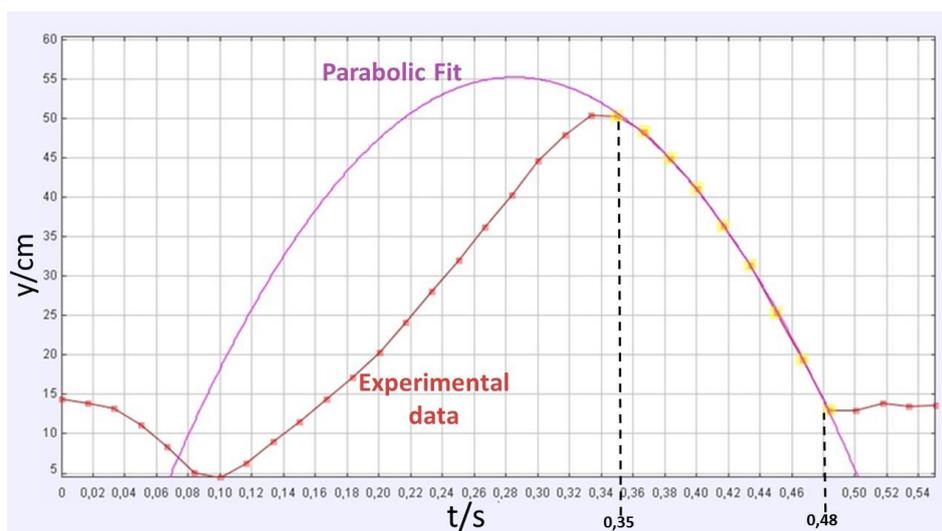
Outra possibilidade de proposição de um problema por parte do professor para os alunos em relação à manobra *ollie* é discutir se há conservação da energia mecânica antes e depois da execução da manobra. Para investigar a solução para esse problema a Videoanálise é imprescindível. A figura 07 representa o gráfico da posição horizontal de um ponto fixo do atleta em função do tempo obtido pela Videoanálise com o *Tracker*.



**Figura 07:** Gráfico da posição horizontal  $x$  em função do tempo para o conjunto atleta e skate antes (cena A) e depois da manobra Ollie (cena F) (figura dos autores).

Escolhendo o nível do chão como de energia potencial nula, a energia mecânica antes e depois da manobra está presente na forma de energia cinética, ou seja, a energia mecânica varia apenas se variar a velocidade do conjunto formado pelo atleta e pelo skate, uma vez que a massa do sistema permanece constante. A variação na inclinação das retas na figura 07 antes e depois da manobra indicam que houve diminuição da velocidade e, por isso, diminuição da energia cinética, indício de que a energia mecânica não se conservou.

Há ainda possibilidades de investigação sistemática do movimento com a Videoanálise, revelando aspectos interessantes. A figura 08 representa a variação da posição vertical  $y$  da extremidade traseira do skate em função do tempo. A partir dessa figura é perceptível que entre os instantes  $t_1 = 0,35$  s (instante em que o skate atinge a altura máxima) e  $t_2 = 0,48$  s (instante em que o skate toca o chão) os pontos da posição  $y$  em função do tempo registrados com o *Tracker* se ajustam com ótima correlação a uma parábola. Isso significa que durante a descida a aceleração do skate é constante, resultado de forças constantes que os pés do atleta, intuitivamente, exercem sobre a superfície do skate que, somadas ao peso do skate, fazem com que o movimento de descida seja constantemente variado, assim como a suavidade das variações constantes nos movimentos de queda dos corpos.



**Figura 08:** As posições da extremidade traseira do skate. Durante a descida, a partir do instante  $t = 0,35$  s, os pontos (em amarelo) são bem ajustados a uma parábola (na cor lilás), o que evidencia a ação de forças constantes dos pés do atleta no skate (figura dos autores).

### Considerações Finais

Acreditamos que a utilização das Imagens Estroboscópicas e da Videoanálise possibilita o rompimento de barreiras no ensino das ciências, barreiras que dificultam a ampliação de um ensino experimental. Para utilizar esses recursos se fazem necessários investimentos na aquisição de câmeras, computadores, projetores e, principalmente, na formação docente. A utilização das Imagens Estroboscópicas e da Videoanálise como opção para um ensino experimental vem sendo investigada no âmbito de uma tese de doutorado do Programa de Pós-graduação em Ensino de Biociências e Saúde do Instituto Oswaldo Cruz/FIOCRUZ. A pesquisa encontra-se em fase de aplicação da intervenção didática e respectiva coleta de dados. Espera-se que seja confirmada a potencialidade desses recursos no processo de aprendizagem científica dos alunos.

### Referências

- BROWN, D. e COX, A.J., The Physics Teacher 47, 145, 2009
- BROWN, D., Tracker, 2008. (disponível em [www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/](http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/) , consultado a 22/04/2016)
- CARVALHO, A. M. P. de. O ensino de Ciências e a proposição de equências de ensino investigativas. Apud. Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula. Ed. Cengage learning. 2013.
- DIAS, M. A., Utilização de fotografias estroboscópicas digitais para o estudo da queda dos corpos. MSc Thesis UFRJ, 2011.

- DIAS, M. A.; BARROS, S. S.; AMORIM, H. S. Produção de fotografias estroboscópica sem lâmpada estroboscópica. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Vol. 26, No 3. 2009
- DIAS, M.A., CARVALHO, P. S. e VIANNA, D. M., The Image Modeling for teaching Newton's Laws with the Ollie Trick, Physics Education, No 51, v 3, 2016
- DIAS, M.A., CARVALHO, P. S. e RODRIGUES, M., How to determine the Centre of Mass of bodies from Image Modelling, Physics Education, No 51, v 2, 2016
- JESUS, V.L.B. e BARROS, M.A.J. As múltiplas faces da dança dos pêndulos Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 4, 4309 (2014)
- JESUS, V.L.B. e SASAKI, D.G.G. O experimento didático do lançamento horizontal de uma esfera: Um estudo por Videoanálise. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 1, 1507 (2015)
- PSSC - PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE.. Física. São Paulo: EDART, 1967.
- RODRIGUES, M. e CARVALHO, P. S., Teaching optical phenomena with Tracker, Physics Education, 49(6), 671-677, 2014
- WHITE, R. and GUNSTONE, R. Probing Understanding (New York: Falmer Press) (1992)

### **A queda dos corpos para além do que se vê: contribuições das Imagens Estroboscópicas e da Videoanálise para a Alfabetização Científica**

#### **Resumo**

Apresentamos os resultados de uma pesquisa que vem desenvolvendo intervenções didáticas investigativas que utilizam como recursos imagens estroboscópicas e videoanálise, buscando confirmar se elas contribuem para a alfabetização científica. Imagens estroboscópicas e videoanálise permitem um ensino em diversos contextos, pois com sua utilização pelo professor, os alunos estudam movimentos reais que foram anteriormente filmados e transformados em material didático. Considerando o potencial desses recursos para a aprendizagem científica, investigamos de que forma sua utilização numa intervenção sobre a queda dos corpos colabora para a alfabetização científica. Na análise dos diálogos entre os alunos durante a construção dos argumentos em resposta à situação problema proposta pelo professor, identificamos um grande número dos indicadores de alfabetização científica.

**Palavras-chave:** Imagem Estroboscópica. Videoanálise. Ensino Investigativo. Alfabetização Científica.

#### **Abstract**

We present the results of a research that has been developing didactic interventions of investigation with the use of strobe images and video analysis, and trying to confirm how they contribute to scientific literacy. Strobe images and video analysis allow teaching in different contexts, because with their use by the teacher, students study real movements that were previously filmed and transformed into didactic material. Considering the potential of these resources for scientific learning, we investigate how their use in an intervention on the fall of bodies contributes to scientific literacy. In the analysis of the dialogues among students during the construction of the arguments in response to the problem situation proposed by the teacher, we identified a large number of indicators of scientific literacy.

**Keywords:** Strobe Image. Video Analysis. Research Teaching. Scientific Literacy.

#### **Considerações iniciais**

O ensino da queda dos corpos é um tema tradicionalmente presente nos currículos de ensino de Física, tanto nos da educação básica quanto nos do ensino superior. Por se tratar de um fenômeno corriqueiro, é um assunto no qual os estudantes têm conhecimentos prévios e, mesmo depois da escolarização formal, há casos em que persistem as concepções aristotélicas como, por exemplo, de que o tempo de queda sempre depende da massa.

Por ser um assunto clássico nas aulas de Física, quando não é ensinada de forma descritiva com apoio do livro didático acompanhado de uma demonstração prática, a queda dos corpos é ensinada com enfoque experimental no laboratório didático tradicional, caso a instituição de ensino conte com essa estrutura. Assim, quando a queda dos corpos é abordada experimentalmente no laboratório tradicional, os roteiros fechados adotados para as práticas demandam pouco esforço cognitivo dos alunos, ficando estes com o papel de confirmar modelos pré-concebidos a partir de experimentos reproduzidos em equipamentos industrializados, com pouca interação entre si e pouca reflexão sobre a própria prática científica.

A fim de oferecer uma metodologia alternativa àquela do laboratório tradicional, utilizamos recursos de vídeo, imagens estroboscópicas e videoanálise para o ensino do movimento de queda de diferentes esferas na sala de aula, com um enfoque no ensino por investigação e baseado na observação sistemática do movimento com os recursos citados. A escolha da metodologia de ensino por investigação se deu por acreditarmos que essa modalidade permite ao aprendiz desenvolver um conjunto de habilidades importantes para a vida em sociedade, levando em conta sua atuação cidadã com criticidade e responsabilidade, ou seja, se trata de uma metodologia de ensino capaz de promover a alfabetização científica.

Em nossa concepção, um ensino que busca a promoção da alfabetização científica deve permitir que o aprendiz desenvolva as habilidades relacionadas aos três Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica, organizados por Sasseron e Carvalho (2011, p. 75-76). O primeiro é o eixo referente à “compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais”, o segundo referente à “compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática” e o terceiro relativo ao “entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente” (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 75-76).

Imagens estroboscópicas e videoanálise contribuem para a alfabetização científica? A fim de responder a essa questão, realizamos uma pesquisa qualitativa com alunos do ensino médio, na qual buscamos identificar nas interações discursivas evidências da construção do conhecimento científico. Na medida em que os Indicadores de Alfabetização Científica propostos por Sasseron e Carvalho (2008) puderam ser identificados na fala dos alunos durante suas interações discursivas, se encontrou evidência de que a construção do conhecimento científico estava em curso com a promoção da alfabetização científica.

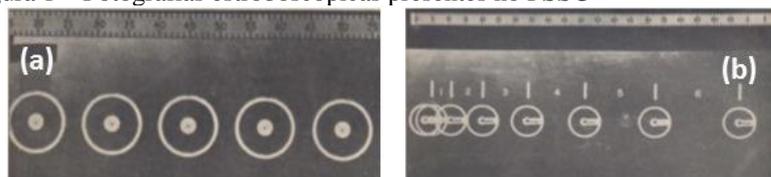
### **Imagens Estroboscópicas e Videoanálise como recursos didáticos**

Todo corpo em movimento pode ser filmado para, com o vídeo digital, serem produzidas as imagens estroboscópicas e feito um estudo sistemático com a videoanálise. Esses recursos – vídeo digital, imagem estroboscópica (IE) e videoanálise (VA) – são utilizados para o planejamento e operacionalização de intervenções didáticas investigativas, cuja eficiência para a alfabetização científica (AC) é pesquisada neste trabalho.

A origem das IE está nas antigas fotografias estroboscópicas, que foram propostas como material didático do *Physical Science Study Committee* (PSSC). Essas fotografias, também chamadas de fotografias de múltipla exposição, eram produzidas em laboratório a partir do registro, numa única fotografia, do movimento de um corpo em diversos instantes ao longo da sua trajetória (Figura 1). A vantagem de se utilizar esse tipo de fotografia como material didático era o fato de a captura de imagens ocorrer numa frequência constante. Com isso, ficava registrado na fotografia a posição do corpo em movimento em diversos instantes, permitindo, a partir de medidas simples com uma régua, o estudo sistemático do movimento. Com essas informações e com os valores da massa do corpo, podia-se analisar a dinâmica e a cinemática de um determinado fenômeno.

A proposta metodológica de utilização das fotografias estroboscópicas pelo PSSC como material didático apontava no sentido de substituir os experimentos realizados em caros aparatos experimentais e, por isso, inacessíveis à maioria das escolas, pelas fotografias com as quais o estudante fazia medidas, construía tabelas e gráficos, buscava regularidades, tudo em sala de aula.

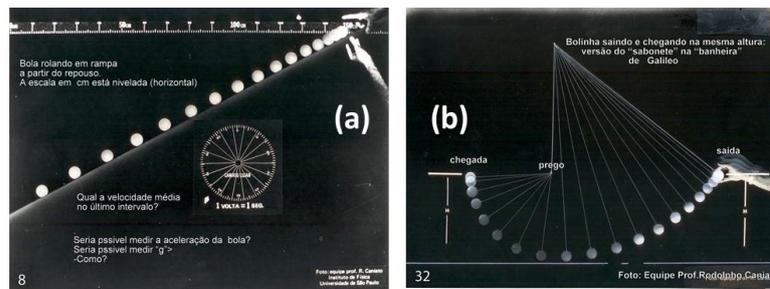
Figura 1 – Fotografias estroboscópicas presentes no PSSC



Legenda: (a) – disco se movimenta com velocidade constante; (b) – movimento com aceleração constante;  
Fonte: PSSC, 1965.

O livro *Projeto Brasileiro para o Ensino de Física* (CANIATO, 1979) também propôs como recurso didático a utilização de fotos estroboscópicas para o ensino e aprendizagem de diversos movimentos. Na Figura 2 estão algumas dessas fotografias, disponíveis também no blog do autor.

Figura 2 – Fotografias do blog do professor Rodolpho Caniato

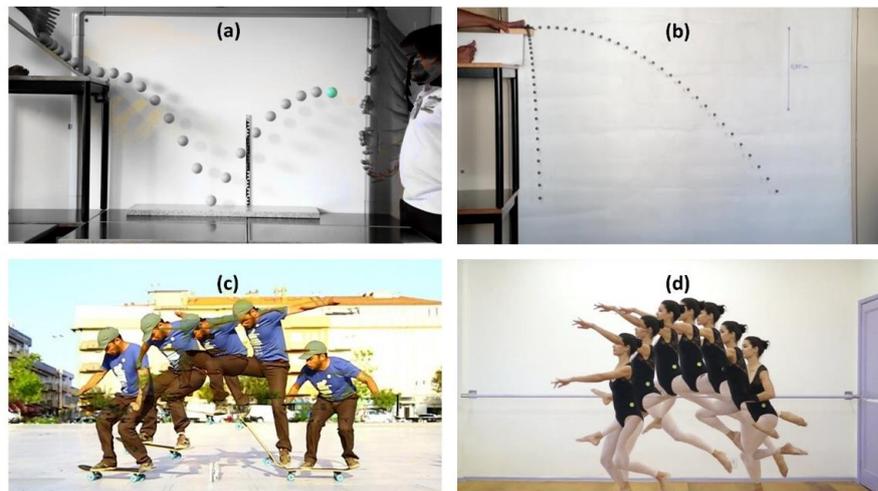


Legenda: (a) – esfera em um plano inclinado; (b) – um pêndulo oscila.  
 Fonte: CANIATO, 2011.

Em cada uma das fotografias estroboscópicas da Figura 2 há informações necessárias para que possam ser utilizadas como um recurso didático ao ensino experimental. Na Figura 2a, por exemplo, além de uma régua na parte superior da fotografia, há um relógio cujo movimento do ponteiro também ficou registrado, o que indica que o intervalo de tempo entre duas posições consecutivas é sempre constante. Os problemas também são propostos na própria fotografia, como podemos observar nas duas fotos da Figura 2.

Com o advento da imagem digital, a produção de vídeos foi popularizada. Conforme foi apresentado por Dias, Barros e Amorim (2009), a partir de um vídeo digital e um PC com aplicativos gratuitos podem ser produzidas IE. Essa técnica tem a vantagem de permitir que os movimentos estudados sejam aqueles que ocorrem no cotidiano dos alunos, como as práticas esportivas, os transportes, os animais etc. A Figura 3 mostra IE de esferas em movimentos regulares e de atletas durante execução de movimentos corporais.

Figura 3 – IE de esferas e atletas em movimento



Legenda: (a) – IE de uma esfera abandonada de uma canaleta inclinada; (b) – lançamento simultâneo de duas esferas; (c) – manobra *ollie* da modalidade *skateboard* (DIAS; CARVALHO; VIANNA, 2016); (d) – salto *Grand Jeté* do *ballet* (DIAS et al., 2017).

Fonte: O autor, 2017.

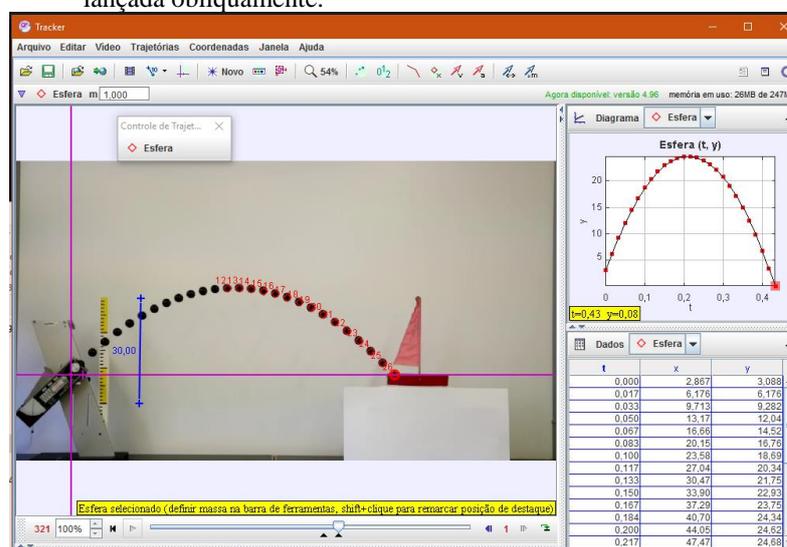
Outro recurso de vídeo disponível para o estudo sistemático do movimento é a VA, que consiste na análise do movimento de corpos a partir de vídeos. Brown (2008) apresentou o

software livre *Tracker*, de sua autoria. Uma vez que o vídeo é importado para o *Tracker*, as posições do corpo em movimento são auferidas com o *mouse* e os dados de posição em cada instante são automaticamente organizados em uma tabela, a partir da qual pode-se esboçar gráficos e fazer diversos tipos de ajustes a modelos matemáticos (lineares, parabólicos ou exponenciais, entre outros).

Muitos pesquisadores têm utilizado essa ferramenta para descrever movimentos complexos, os quais antes do advento do *Tracker* eram difíceis de ser estudados empiricamente (JESUS; BARROS, 2014; JESUS; SAZAKI, 2015). Há ainda a proposta de utilização da Videoanálise associada à utilização de modelagem computacional (BROWN, 2009) para o estudo da acústica (CARVALHO et al, 2013), da óptica (RODRIGUES; CARVALHO, 2014) e para o estudo de movimentos pouco convencionais em sala de aula (DIAS; CARVALHO; RODRIGUES, 2016; DIAS; CARVALHO; VIANNA, 2016; DIAS et al, 2017).

A Figura 4 mostra a interface do *Tracker*, na qual percebemos o cenário em que ocorre o movimento (nesse caso um lançamento oblíquo de uma esfera), o referencial escolhido (linhas perpendiculares de cor avermelhada) e a calibração do fator de escala entre as dimensões do vídeo e o cenário real (segmento azul com 30,00 cm). O próprio aplicativo *Tracker* oferece um recurso que permite a produção da imagem estroboscópica. Percebemos na Figura 4 os dados organizados em tabela e a representação gráfica da posição  $y$  em função do tempo.

Figura 4 – Interface do aplicativo *Tracker* para a análise do movimento de uma esfera lançada obliquamente.



Fonte: O autor, 2017.

## Intervenções Didáticas de Investigação Baseadas em Vídeo

Propomos uma intervenção didática que utiliza como referencial de ensino as

Sequências de Ensino Investigativas (CARVALHO, 2013) e a estratégia interativa Prever-Observar-Explicar (WHITE; GUNSTONE, 1992). As Sequências de Ensino Investigativas (SEI) permitem que as aulas ocorram como um processo de investigação e a estratégia Prever-Observar-Explicar (POE) permite a interação dos alunos com um fenômeno a partir da demonstração feita pelo professor e, por isso, se trata de uma estratégia didática que pode ser utilizada para sistematizar a discussão entre os alunos sobre um fenômeno em estudo com a obtenção de bons resultados, como confirmaram Tao e Gunstone (1999), Kearney (2004), Kuçukozer (2008), Rakkapao et al (2014) e Santos e Sasaki (2015).

Portanto, o que chamamos de intervenções didáticas de investigação baseadas em vídeo, trata-se de uma metodologia de ensino que utiliza os recursos IE e VA com estratégia de ensino investigativo SEI e interativo POE para a resolução de problemas reais (MALHEIRO; FERNANDES, 2015). Nossas escolhas buscam transformar a sala de aula numa comunidade de aprendizagem, na qual os alunos aprendam Ciências estabelecendo, desestabelecendo e reestabelecendo o conhecimento, numa dinâmica em que suas concepções prévias sejam valorizadas. Ou seja, numa dinâmica *hands-on, minds-on e hearts-on*, favorecendo assim a interação social, *social-on* (BASSOLI, 2014). Dessa maneira, esperamos alcançar nosso objetivo geral que é criar oportunidades para a formação de um aluno crítico, com cultura científica e com espírito investigativo, ou seja, um aluno alfabetizado cientificamente

O Quadro 1 mostra as interseções das etapas da estratégia POE e das etapas propostas nas SEI.

Quadro 1 - Interseções entre os referenciais de ensino para Intervenções Didáticas de Investigação Baseadas em Vídeos

<b>Estratégia POE</b>	<b>Proposta SEI</b>
Previsão	Proposição do Problema. Descrição da demonstração que ocorrerá no vídeo projetado para toda a turma e proposição do Problema; Discussão entre os alunos em grupo para resolução do Problema; Sistematização e formulação de uma resposta para o grupo; Escrever e desenhar a previsão sistematizada pelo grupo.
Observação (Exibição do Vídeo)	Discussão entre os alunos no grupo para validar, invalidar e revalidar a formulação da resposta na Previsão; Sistematização e formulação de uma resposta pelo grupo;
Explicação	Escrever e diagramar a explicação cientificamente correta do fenômeno ou acontecimento. Texto de Sistematização do conhecimento (material didático impresso – livro) Contextualização Social ou Aprofundamento do Conteúdo feita pelos alunos.

Fonte: O autor, 2017.

## **Metodologia de pesquisa: a busca por Indicadores de Alfabetização Científica**

Apresentamos os resultados da pesquisa cuja hipótese é que as IE e a VA são recursos com potencial para promover a AC. Os sujeitos da pesquisa foram alunos da primeira série do ensino médio, etapa escolar em que a maioria dos alunos tem o primeiro contato com a disciplina Física. A intervenção ocorreu em uma escola pública de ensino médio-técnico no município de Nilópolis, no Rio de Janeiro.

Em sala de aula, a turma foi dividida em seis grupos de até seis integrantes. O professor apresentou a situação problema e, a partir desse instante, as interações discursivas entre os alunos nos grupos foram registradas em áudio com gravadores digitais para a posterior transcrição das falas e busca por indicadores de AC. Os indicadores de AC constituem um conjunto de habilidades e competências que têm semelhanças com o fazer ciência, ou seja, com a prática investigativa. Sasseron e Carvalho (2008, p. 338) destacam que os indicadores são “competências comuns desenvolvidas e utilizadas para a resolução, discussão e divulgação de problemas”.

A coleta de dados gerou seis arquivos de áudio, um para cada grupo, com cerca de duas horas de diálogos cada. Os áudios foram auscultados e um dos grupos, escolhido aleatoriamente, teve seus diálogos transcritos. As etapas da intervenção estão delineadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Delineamento das etapas da intervenção didática na qual foram coletados os dados

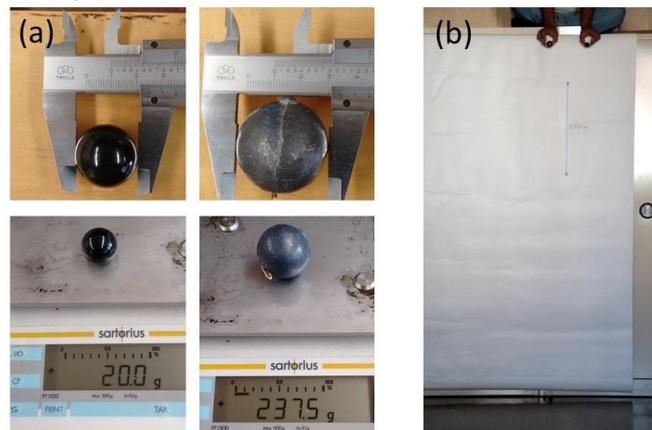
Etapa	Objetivo	Ações
1	Ganhar a atenção da turma	Organização dos grupos, apresentação do tema de estudo e distribuição do material
2	Proposta do estudo da queda de duas esferas de massas e diâmetros diferentes, quando abandonadas de uma mesma altura e num mesmo instante	Prever: os grupos discutem e formulam as suas previsões baseadas no que eles acham que vai acontecer.
		Observar: o professor reproduz o vídeo quantas vezes forem necessárias para que os alunos registrem as suas observações; os alunos comparam as suas previsões com a observação do vídeo; o professor exhibe a imagem estroboscópica a fim de enriquecer a observação dos alunos.
		Explicação: os alunos formulam suas explicações por escrito, primeiro na forma qualitativa e depois, se conveniente, na forma quantitativa.
3	Sistematização do conhecimento	Os grupos leem suas explicações para a turma
4	Proposta de substituição da esfera pequena da etapa 2 por uma ainda menor; estudo da queda dessas esferas	Prever: os grupos discutem e formulam as suas previsões baseadas no que eles acham que vai acontecer.
		Observar: o professor reproduz o vídeo para que os alunos registrem as suas observações, quantas vezes forem necessárias; os alunos comparam as suas previsões com a observação do vídeo; o professor exhibe a imagem estroboscópica a fim de enriquecer a observação dos alunos.
		Explicação: os alunos formulam suas explicações por escrito, primeiro na forma qualitativa e depois, se conveniente, na forma quantitativa.

5	Sistematização do conhecimento	Cada grupo lê a sua explicação para a turma
6	Finalização	Discussão em grande grupo sobre os resultados obtidos; dá-se a conciliação das ideias e a escrita da interpretação do fenômeno pelos alunos, usando linguagem científica.

Fonte: O autor, 2017.

Foram duas proposições de problemas feitas pelo professor, nas quais esferas de massas e diâmetros diferentes seriam abandonadas aos pares, no mesmo instante e de uma mesma altura. As proposições foram realizadas com auxílio de imagens projetadas, como as da Figura 5.

Figura 5 – Imagens utilizadas para auxiliar na descrição da atividade para os alunos



Legenda: (a) – informações de massa e diâmetro para caracterizar as diferenças entre as esferas; (b) – cenário com o local de onde foi gravado o vídeo.

Fonte: O autor, 2017.

A seguir, apresentamos a primeira proposição de problema, a transcrição dos episódios de ensino que surgiram durante a etapa de solução pelos alunos e os Indicadores de AC nos episódios.

## Proposição 1

### Parte 1 - Apresentação da situação problema, proposição da questão de investigação e formulação das previsões

Conforme o Quadro 1, de acordo com a estratégia POE, a situação problema foi inicialmente descrita e a questão a responder foi cuidadosamente formulada para que os alunos fizessem coletivamente suas previsões. E, de acordo com as SEI, se deu a distribuição do material, a proposição do problema pelo professor e a solução do problema (previsão) pelos alunos. Assim, a situação problema colocada foi: duas esferas de tamanhos diferentes, uma

pequena com diâmetro 2,4cm e massa 20g e outra maior com diâmetro 3,4cm e massa 237,5g (Figura 5a), serão abandonadas de uma mesma altura no mesmo instante, conforme a imagem projetada (Figura 5b). Como podemos comparar os movimentos das duas esferas?

O Quadro 3 mostra a transcrição do episódio inicial de ensino de um grupo da turma.

Quadro 3 – Transcrição do episódio inicial de ensino

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
18	Lays: Abandonando simultaneamente as duas esferas...	A aluna abandona um frasco de cola escolar branca e sua tampa, num mesmo instante, a fim de reproduzir a queda de dois corpos diferentes	-Levantamento de hipóteses -Teste de hipóteses
19	Carla: Não gente, eu sei que vão cair os dois [ <i>ao mesmo tempo</i> ]	A aluna utiliza conhecimentos anteriores de que a massa não influi na queda dos corpos	-Levantamento de hipóteses
20	Lays: Porém ó! Abandonando simultaneamente as duas esferas como podemos comparar os movimentos de cada uma...	A aluna reproduz novamente a queda dos dois corpos e verifica que caem ao mesmo tempo	-Teste de hipóteses
21	Marcos: A esfera mais pesada vai chegar primeiro.	O aluno traz para o grupo a concepção de que corpos mais pesados caem mais rapidamente do que corpos mais leves	-Levantamento de hipóteses -Raciocínio proporcional
22	Lays: Ó, vou soltar.		-Teste de hipóteses
23	Marcos: o que eu falei que a mais pesada vai cair primeiro.	O aluno chama a atenção do grupo para a queda das esferas proposta pelo professor, descartando a possibilidade da queda da cola e da sua tampa ser um fenômeno análogo	-Levantamento de hipóteses -Raciocínio proporcional

Fonte: O autor, 2017.

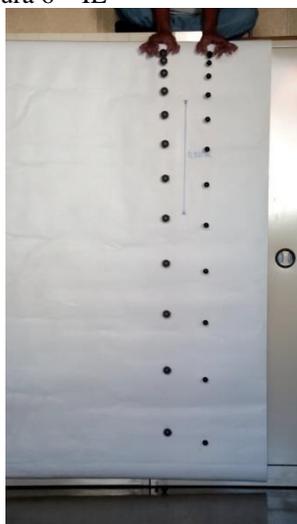
Na análise da transcrição desse primeiro episódio de ensino percebemos o envolvimento dos alunos com a formulação de uma previsão. Além dos indicadores de AC presentes nos diálogos, percebemos que os alunos trazem seus conhecimentos anteriores. Quando Carla diz “eu sei que vão cair os dois”, percebemos um conhecimento prévio escolarizado de que, em queda livre, a massa do corpo não influi no movimento. Por outro lado, quando Marcos diz “a esfera mais pesada vai chegar primeiro”, fica evidente a presença da concepção alternativa de que a massa influi em todo o movimento de queda. Percebemos nesse episódio que os alunos se envolveram com a solução do problema proposto. Essa dimensão afetiva é importante para a aprendizagem científica.

## Parte 2 - observação do fenômeno a partir do vídeo e da IE

Na estratégia POE, após a formulação das previsões, o fenômeno deve ser demonstrado para que os alunos registrem suas observações. Nas SEI, os alunos validam, invalidam ou revalidam a resposta da previsão.

A demonstração da queda das esferas foi feita a partir do vídeo, através do qual percebe-se que uma pessoa abandona as duas esferas com suas mãos (Figura 5b) e nota-se que as esferas atingem o chão no mesmo instante. O vídeo foi reproduzido várias vezes por solicitação dos alunos. Porém, a IE revelou algo que os olhos não foram capazes de perceber no vídeo: as esferas não atingiram o chão no mesmo instante. E mais: a esfera que atingiu o chão primeiro foi a menor, hipótese que não havia sido levantada na fase da previsão. A IE da queda das duas esferas de massas e diâmetros diferentes, abandonadas por uma pessoa, atingindo o solo em instantes diferentes está representada na Figura 6.

Figura 6 – IE



Fonte: O autor, 2017.

No Quadro 4 está a transcrição do segundo episódio de ensino para o mesmo grupo de alunos, relacionado à etapa da observação.

Quadro 4 – Transcrição do segundo episódio de ensino

Turno	Fala	Descrição	Indicador de AC
64	Lays: Gente, presta atenção: quando a gente assiste ao vídeo, a gente acha que os dois caem no mesmo intervalo de tempo. Pela foto Estroboscópica a gente percebe que a bolinha de menor massa, ela alcança primeiro o chão. E aí, o que a gente coloca? Isso?	A aluna reflete sobre como descrever a observação, se com o resultado do vídeo ou da imagem estroboscópica	-Organização de informações -Serição de informações
65	Carla: Será que ele não soltou a bolinha primeiro? Porque esses erros acontecem. Senão você veria as duas caírem ao mesmo tempo no chão.	Carla levanta a hipótese da não simultaneidade do abandono das esferas pelo professor.	- Levantamento de hipóteses

			-Organização de informações
66	Lays: Professor!	Lays recorre ao professor.	
67	João: Depende né? Do atrito.	João introduz a ideia de uma nova variável influir no movimento das bolas	-Justificativa
68	Carla: É verdade. Mas assim seria a bolinha mais pesada chegar mais rápido.		-Justificativa -Explicação -Raciocínio proporcional

Fonte: O autor, 2017.

No turno 64 fica registrado que Lays se depara com uma ‘realidade’ que contrapõe seu conhecimento prévio: trata-se de um confronto entre o que ela achava que aconteceria e o que é observado. Essa dicotomia fez com que surgissem duas explicações: no turno 65, Carla chama atenção para o fato de que o professor poderia ter abandonado as esferas em instantes ligeiramente diferentes, o que seria imperceptível a partir do vídeo, mas revelado na IE; e no turno 67, João considera a hipótese de as esferas estarem interagindo com o ar, hipótese refutada no turno 68, por Carla. Vale ressaltar que nenhuma das duas possibilidades foi considerada pelo professor durante o planejamento da intervenção. A sugestão da não simultaneidade no abandono (turno 65) e a consideração da resistência do ar na queda (turno 67) são consequências da observação da IE, não da observação do vídeo, o que revela uma atitude crítica dos alunos perante a observação dos fenômenos. Isto apenas foi possível porque lhes foi dada a oportunidade para confrontar e discutir os resultados em grupo.

Como percebemos nas transcrições dos próximos episódios de ensino, as interações discursivas foram no sentido de corroborar uma das duas hipóteses.

### Parte 3: Explicando o observado

De acordo com a estratégia POE, após a observação do fenômeno, os alunos explicam com riqueza de detalhes a observação. Nas SEI, neste mesmo momento, ocorre a discussão entre os alunos em grupo para resolução do Problema, a sistematização e formulação de uma resposta para o grupo e as ações de escrever e diagramar a previsão sistematizada pelo grupo.

De uma maneira geral, a observação refutou as previsões de todos os grupos, o que enriqueceu as interações para formulação de uma explanação (terceira etapa na metodologia POE). Foi preciso reproduzir outras vezes o vídeo, fazer medidas na fotografia projetada na tela, consultar o livro didático, levantar novas hipóteses, testá-las, construir argumentos, formular, reformular e etc. A sala de aula se transformou em um ambiente interativo,

colaborativo e investigativo (*minds-on, hands-on, hearts-on, social-on*). A seguir, apresentamos a transcrição de um episódio de ensino desta fase da intervenção:

Quadro 5 – Transcrição do terceiro episódio de ensino

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
71	Marcos: Quanto mais leve o corpo, mais rápido chega?	O aluno se depara com uma observação que contrapõe seu conhecimento prévio	-Levantamento de hipóteses
72	João: Quanto menos atrito mais rápido chega.	Observando a Imagem Estroboscópica João descarta a possibilidade de que a resistência do ar dependa apenas da massa, fazendo uma generalização.	-Classificação de informação -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional -Justificativa
73	Lays: Mas é a resistência do ar.	Lays corrige o termo atrito usado pelos colegas. Não associa o atrito à resistência do ar.	-Explicação
74	João: Sim, resistência do ar. Eu cismo que é atrito.	João evidencia pouca confiança no uso dos termos resistência do ar ou atrito; contudo sabe que se trata de uma força contrária ao movimento do corpo no ar.	-Classificação de informação
75	Lays: Gente, deixa a Carla falar.		
76	Carla: Se fosse a resistência do ar a bolinha grande ia chegar mais rápido.	Carla utiliza um raciocínio de proporcionalidade inversas entre a resistência do ar e as dimensões das esferas. Não fica claro se ela estabelece uma relação com as massas das bolas.	-Organização de informações -Previsão -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional
77	João: Quanto maior o corpo maior a resistência do ar.	Refuta a Carla com raciocínio proporcional a partir da observação da Imagem Estroboscópica, considerando as dimensões da esfera e desconsiderando as massas.	-Organização de informações -Previsão -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional

Fonte: O autor, 2017.

Inicialmente havia duas previsões: no turno 19, Carla previu que as esferas cairiam juntas, o que indicou que a aluna tinha conhecimento sobre o conceito de queda-livre; no turno 21, Marcos previu que a “mais pesada” cairia primeiro, previsão que pode ter relação tanto com a concepção de que a massa influi na queda livre quanto com o conhecimento de que, considerando a resistência do ar, ela atuaria mais sobre a esfera “mais leve” e com isso ela deveria chegar depois da esfera maior (até aqui não tivemos dados que revelassem que o aluno considerou as dimensões da esfera para a resistência do ar).

De um lado, após a observação das quedas no vídeo e na IE, Carla continuou a descartar a influência da resistência do ar, conforme a transcrição do turno 76, fundamentada no seu conhecimento de que, caso a resistência do ar tivesse influência nos movimentos de queda, ela deveria ser menor sobre a “bolinha grande” e, assim, ela cairia primeiro; com isso a aluna

qualificou seu argumento para manter a previsão de que não houve simultaneidade no abandono.

Por outro lado, os alunos que consideravam a resistência do ar tiveram também seu qualificador no turno 77, quando João colocou que quanto maior o corpo maior a resistência do ar, incluindo a grandeza diâmetro da esfera como, junto à massa, uma variável importante nas interações com o ar.

Como dito anteriormente, no planejamento da intervenção didática, o professor não considerou a resistência do ar como um fator importante. Por isso, percebemos, a partir dos dados do Quadro 5, que o pouco controle sobre as variáveis no experimento dificultou aos alunos a formulação de uma explicação que considerasse a resistência do ar sobre o movimento. Havia duas dicotomias: uma em relação às observações no vídeo em que as esferas eram vistas caírem juntas e na IE que registrou quedas em tempos diferentes; e outra em relação à não simultaneidade no abandono/influência da resistência do ar nos movimentos. Isso fez com que Lays recorresse à presença do professor, cuja intervenção está registrada no episódio de ensino do Quadro 6.

Quadro 6 – Quarto episódio: transcrição da interação entre alunos e professor

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
84	Lays: O que a gente está querendo saber é o que está atuando: se é só a gravidade ou se tem a resistência do ar. Quando o vídeo passa a gente acha que as duas bolinhas alcançam o chão no mesmo intervalo de tempo. E na foto está mostrando que a bolinha de menor massa atinge o chão primeiro.	Aqui surge a necessidade de delimitação do fenômeno da queda. Isso porque a Imagem Estroboscópica revelou detalhes que não foram perceptíveis no vídeo.	-Seriação de informações -Organização de informações -Levantamento de hipóteses -Justificativa -Previsão -Explicação
85	Professor: Então por isso vocês não chegaram num consenso?		
86	Lays: Não, é que a gente chegou nesse consenso, que pelo vídeo mostra uma coisa e pela foto tá mostrando outra. Então a gente não sabe qual que está correta.	A aluna explica o porquê da dificuldade em formular uma explanação. Ela não sabe se formula a explanação fundamentada no vídeo ou na imagem estroboscópica.	-Organização de informações -Explicação
87	Professor: Por que será que no vídeo a gente não percebe que a menor cai primeiro?	Nessa hora o professor induz uma confiabilidade maior para a IE	
88	Lays: Porque o intervalo de tempo é bem curto, quase insignificante.	A aluna pensa na possibilidade de desconsiderar o pequeno intervalo de tempo entre as duas chegarem ao chão.	-Levantamento de hipóteses -Justificativa -Explicação
89	Professor: Então é porque o movimento é muito rápido e nossos olhos não conseguem perceber?	Professor justifica porque a IE é melhor para observar o movimento.	

90	Lays: Sim, não conseguem.		-Organização de informações
91	Professor: E a partir da Imagem Estroboscópica a gente tem uma...	Professor dá pausa para que os alunos formulem suas conclusões.	
92	Lays: Detalhe.	A aluna conclui.	-Explicação
93	Professor: A gente vê mais detalhes.	Confirmação da fala da aluna.	

Fonte: O autor, 2017.

Na interação dos alunos com o professor, percebemos uma predominância de indicadores associados à necessidade de entendimento da situação analisada (SASSERON; CARVALHO, 2008). Sem uma definição sobre qual recurso eles utilizariam para a formulação de uma explicação, se o vídeo ou a IE, ficou impossível prosseguir. Com a intervenção do professor, ficou definido que a IE oferecia, neste caso, mais informações sobre o movimento do que o vídeo da queda. Em contrapartida, o resultado evidenciado pela imagem divergia de todas as previsões. Na sequência, o professor propôs uma nova atividade para a turma na qual a esfera pequena da primeira atividade ( $d_1 = 2,4$  cm e  $m_1 = 20$  g) seria substituída por uma ainda menor ( $d_2 = 1,6$  cm e  $m_2 = 5,4$  g). Apresentamos, a seguir, os resultados da segunda atividade.

## Proposição 2

Para a proposição dois, a situação problema colocada foi a que se segue: na atividade 2 serão abandonadas duas esferas, uma de massa 5,4 g e diâmetro 1,6 cm, junto uma grande de diâmetro 3,4 cm e massa 273 g. Solicito que vocês façam suas previsões sobre o movimento das esferas.

No Quadro 7 está a transcrição de um trecho da formulação da nova previsão.

Quadro 7 – Quinto episódio de ensino

Turno	Fala	Descrição	Indicador de AC
121	Lays: Cara, a previsão é a mesma.	A aluna se refere ao que ocorreu na atividade 1, ou seja que a menor esfera cairia primeiro.	-Levantamento de hipóteses
122	Marcos: Quem é mesma?	O aluno tenta compreender onde está a diferença entre a atividade 1 e a 2.	-Classificação de informações
123	João: Cara, massa $m_p$ é da pequena e $m_G$ da grande.	O aluno explica que a esfera média da atividade anterior foi substituída por uma esfera pequena.	-Serição de informações
124	Marcos: Que isso, cara! A diferença de uma massa <i>pra</i> outra é muito grande!	O aluno refuta a previsão de Lays em função do aumento considerável na diferença entre as massas e os diâmetros das esferas.	-Classificação de informações
125	Carla: Cara, eu continuo achando que a previsão é a mesma.	A aluna refere à previsão que ela havia feito para a atividade 1, que ambas cairiam juntas (turno 19).	-Levantamento de hipóteses

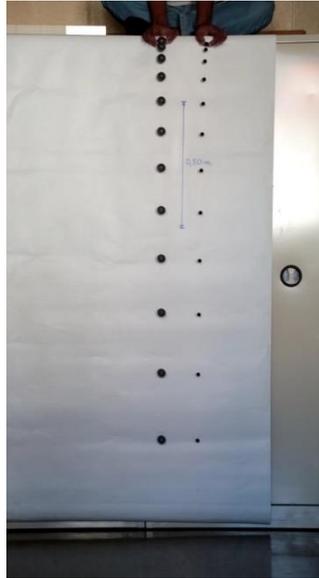
126	Marcos: Incluindo a resistência do ar eu acho que a pesada chega mais rápido.	Marcos sustenta a hipótese aristotélica que corpos pesados caem mais rapidamente que corpos leves.	-Organização de informações -Levantamento de hipóteses
127	Carlos: Não porque, no caso, a gente não tem essa informação.		-Organização de informações
128	Marcos: Então, é só a previsão.	O aluno atenta para o fato de que eles estão formulando uma previsão, quando podem livremente dizer o que eles acham que ocorrerá	-Classificação de informações

Fonte: O autor, 2017.

Os dados mostram que as previsões dos alunos para a segunda atividade foram semelhantes às previsões da primeira atividade, ou seja, previsões considerando a não simultaneidade no abandono e previsões considerando a resistência do ar. Porém, no turno 127, pela primeira vez o aluno Carlos se manifesta e sua fala indica que o experimento não permite que eles tenham informações para considerar a resistência do ar. Tudo indica que seu intuito foi delimitar a observação, pois saber o que se considerar numa observação é tão importante quanto saber o que se deve desconsiderar.

Na sequência, o professor exibiu o vídeo com a queda das esferas e, assim como na atividade anterior, a observação feita a partir do vídeo indicou que as esferas atingiram o chão no mesmo instante. A IE exibida (Figura 7), diferentemente das quedas na atividade anterior, mostrou que nesse caso as esferas tiveram movimentos parecidos. Para esta atividade percebemos que os alunos não se limitaram à separação entre as etapas de Observação e de Explicação propostas na metodologia POE. Isso indica que, numa atividade investigativa, a estratégia POE é uma boa opção para o planejamento docente, mas que não devemos esperar que os alunos respeitem os limites entre as etapas, pois aprender no ensino por investigação é uma prática essencialmente livre da mesma forma que livres são os pensamentos.

Figura 7 – IE



Fonte: O autor, 2017.

As diferenças nos comportamentos dos movimentos de queda das esferas nas atividades 1 e 2 trouxeram novamente a possibilidade da não simultaneidade do abandono na primeira atividade citada por Carla no turno 65 do Quadro 4, mas agora essa possibilidade foi colocada por Lays no turno 146 do Quadro 8. Percebemos nesse turno que a aluna busca corroborar as duas hipóteses levantadas no grupo: a de que não houve simultaneidade no abandono e a de que existe resistência do ar. É importante ressaltar que em nenhum momento essa aluna manifestou algum conhecimento prévio sobre a queda dos corpos e que sua interação com o fenômeno se iniciou empiricamente (turnos 18, 20 e 22 do Quadro 3). No turno 64 do Quadro 4, a aluna questionou as diferentes observações sobre os movimentos na atividade 1 em relação ao que se via no vídeo e na IE, quando recorreu ao professor. Uma vez que a intervenção docente nos turnos 85, 87 e 89 do Quadro 6 a fez reconhecer que na IE há mais “riqueza de detalhes” (turno 92, Quadro 6), Lays previu, a partir do único controle disponível no experimento (o fato das duas atividades terem sido realizadas no mesmo local), que a esfera menor cairia primeiro assim como na atividade 1 (turno 121, Quadro 7). Contudo, sua previsão não se confirmou na observação.

Sob outra perspectiva, diferente de Carla e Carlos, João e Marcos ainda consideravam os efeitos da resistência do ar sobre os movimentos. No turno 144 do Quadro 8, Lays chama a atenção do grupo para a necessidade de considerar ou não a resistência do ar e, a partir daí, discute com Carla sobre desprezar ou não tal efeito. Na opinião da discente, tal efeito somente pode ser desprezado no vácuo (turno 146). Assim, após a interação com Carla, Lays conclui que, ainda que se considere a resistência do ar, essa interação estaria controlada nas duas atividades e as esferas deveriam ter comportamentos semelhantes. Por fim, no turno 148, ela

conclui seu argumento de que não houve simultaneidade no abandono das esferas na atividade 1, mas que existe essa simultaneidade na atividade 2.

Até aqui a análise dos dados mostra um envolvimento dos alunos na solução de problemas resultantes de uma situação real, e que deixou de ser apenas a queda dos corpos, pois passou a envolver a forma como os corpos foram abandonados e os recursos utilizados para a observação dos movimentos. A presença dos Indicadores de AC mostra que o conhecimento científico está sendo construído, e essa construção ocorre entre os pares, ou seja, socialmente, onde alunos com níveis de conhecimentos diferentes, num mesmo grupo, interagem para a solução de um problema proposto (DRIVER, 1999).

Quadro 8 – Sexto episódio de ensino

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
144	Lays: Mas aí eu quero saber, tem ou não resistência? Cara, tem que ter alguma diferença. As duas [ <i>experiências</i> ] foram feitas no mesmo lugar!	A aluna busca organizar a discussão junto ao grupo	-Organização de informações -Levantamento de hipóteses -Justificativa
145	Carla: Cara, olha só, despreza a resistência do ar.	Carla tenta simplificar a situação experimental, para ser mais fácil aplicar um modelo físico.	-Levantamento de hipóteses -Justificativa -Previsão -Explicação
146	Lays: Não, não tem como desprezar a resistência do ar. Como? Só se for no vácuo! Eu acho que ele soltou a primeira bolinha em instantes diferentes. No primeiro vídeo. A bolinha foi solta em instante diferente.	Lays percebe-se que não pode simplificar a situação experimental e propõe uma explicação para a atividade 1.	-Organização de informações -Raciocínio lógico -Levantamento de hipóteses -Explicação -Justificativa
147	Carla: Por quê?		
148	Lays: As duas experiências foram feitas no mesmo local, com resistência do ar, porque se não fosse a resistência do ar seria no vácuo. Tem a força da gravidade atuando e chegaram no mesmo intervalo de tempo. Então ele soltou a bolinha no primeiro vídeo antes.	Lays compara as condições das duas atividades e projeta uma explicação global para o observado.	-Classificação de informação -Teste de hipóteses -Explicação -Justificativa -Previsão -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional

Fonte: O autor, 2017.

Nessa altura da intervenção, a explicação da Lays, porta-voz do grupo para o fenômeno em estudo, considerava tanto a não simultaneidade no abandono quanto a resistência do ar atuando igualmente em todos os corpos. Na transcrição do sétimo episódio de ensino (Quadro 9), verificamos que a orientação docente foi no sentido de os alunos sugerirem uma forma de confirmar o argumento que Lays utilizou no turno 148. Os alunos utilizaram a própria IE para defender o argumento e, no turno 157 do Quadro 9, Lays sugere que as posições variam

analogamente nas duas trajetórias. No turno 161, Bianca, em sua primeira interação com o grupo, observa a equivalência entre as distâncias percorridas nos intervalos de tempo correspondentes pelas duas esferas na atividade 1 e indica uma forma de comprovar essa observação a partir da medição dessas distâncias com a régua (medição feita na imagem projetada pelo *datashow*), corroborando a sugestão de Lays, o que levou Carla a confirmar, no turno 162, sua previsão inicial de que as esferas não foram abandonadas simultaneamente.

Quadro 9 – Sétimo episódio de ensino

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
156	Professor: Existe alguma forma de comprovar nessa primeira fotografia que eu não consegui abandoná-las simultaneamente?		
157	Lays: Posição?		-Levantamento de hipóteses
158	Professor: Pelas distâncias?		
159	Lays: Sim.		-Classificação de informações
160	Professor: Você quer dizer essas distâncias?	Professor aponta para as distâncias percorridas em intervalos de tempo correspondentes.	
161	Bianca: Não, assim oh! Você vê que os espaços vão aumentando gradativamente. Tanto da direita quanto da esquerda. São iguais. Daí você percebe que...	Aluna vai à tela de projeção.	-Organização de informações -Teste de hipóteses -Explicação -Justificativa -Previsão -Raciocínio lógico -Raciocínio proporcional
162	Carla: Você soltou uma primeiro que a outra.	Prova baseada em dados.	-Justificativa

Fonte: O autor, 2017.

Nessa fase, entrou espontaneamente em cena um outro aspecto interessante da cultura científica, que foi a tentativa de generalização do que foi observado nas atividades. No turno 175, a palavra “lei” é falada pela primeira vez durante a intervenção. Nesse episódio a formulação da “lei” é feita sem uma intervenção docente que vá além de uma provocação, como no turno 176 do Quadro 10. Nos turnos subsequentes, a formulação dessa “lei” é feita pelos próprios alunos, ainda que eles desconfiem de que esse seja mesmo um comportamento regular da natureza.

Quadro 10 – Oitavo episódio de ensino

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
175	Lays: Eu acho que é uma lei. Tem uma lei que se aplica.	Tentativa de generalização	-Classificação de informações -Levantamento de hipóteses
176	Professor: Qual lei?		
177	Lays: Eu não sei qual é.		

178	Carla: Eu não sei se exatamente isso, mas dois corpos de mesma massa tendem a chegar ao chão no mesmo instante de tempo.	Formulação de generalização.	-Explicação -Raciocínio lógico
179	Carlos: Mas as massas são diferentes	Refutação à generalização.	-Organização de informações
180	Carla: Mas ele perguntou a lei		-Organização de informações
181	Lays: Mas o nome da lei eu não sei. Lei gravitacional?		-Classificação de informações

Fonte: O autor, 2017.

O debate prosseguiu: de um lado, os alunos que traziam consigo a ideia de resistência do ar sobre os movimentos de queda tentavam *salvar o fenômeno*, argumentando que as esferas mais pesadas deveriam cair primeiro; do outro lado, os que teriam aceitado a concepção de que a resistência atuava igualmente sobre todas as esferas e que a diferença nas quedas se deu por conta dos diferentes instantes de abandonos. Ambos os lados tentavam confirmar suas hipóteses e, dessa maneira, os alunos solicitaram que o vídeo fosse reproduzido em câmera lenta. Por ocasião da reprodução, todos verificaram que não houve simultaneidade no abandono na primeira atividade, ainda que numa fração de décimos de segundos. Por isso a diferença no tempo de queda fora perceptível apenas na IE, e não no vídeo reproduzido em tempo real.

A partir da observação do vídeo em câmera lenta, os alunos ficaram mais confiantes em formularem um argumento (que eles chamaram de lei), conforme transcrito no turno 193 do Quadro 11. Nesse mesmo turno, Lays coloca as condições de contorno para que a “lei” da Carla seja válida.

Quadro 11 – Nono episódio de ensino

<b>Turno</b>	<b>Fala</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador de AC</b>
192	Professor: Eu quero saber se a lei a que a Carla se refere é válida ou não é?	O professor se refere à fala da aluna no turno 178 do Quadro 10	
193	Lays: Sim, é a lei da gravidade. Mas essa lei só se aplica se você soltar os corpos ao mesmo tempo. Porque se você não soltar vai acontecer o que aconteceu ali, uma vai chegar primeiro que a outra.	A aluna impõe condições de contorno para que a generalização seja válida	-Serição de informações -Explicação -Justificativa
194	Professor: Isso é condição primordial, certo?		
195	Lays: Sim, é uma regra, mas há exceções.	Lays evidencia o caráter geral da lei, mas admite a exceção como cientificamente aceite, introduzindo práticas do senso comum.	-Explicação -Organização de informações -Justificativa

Fonte: O autor, 2017.

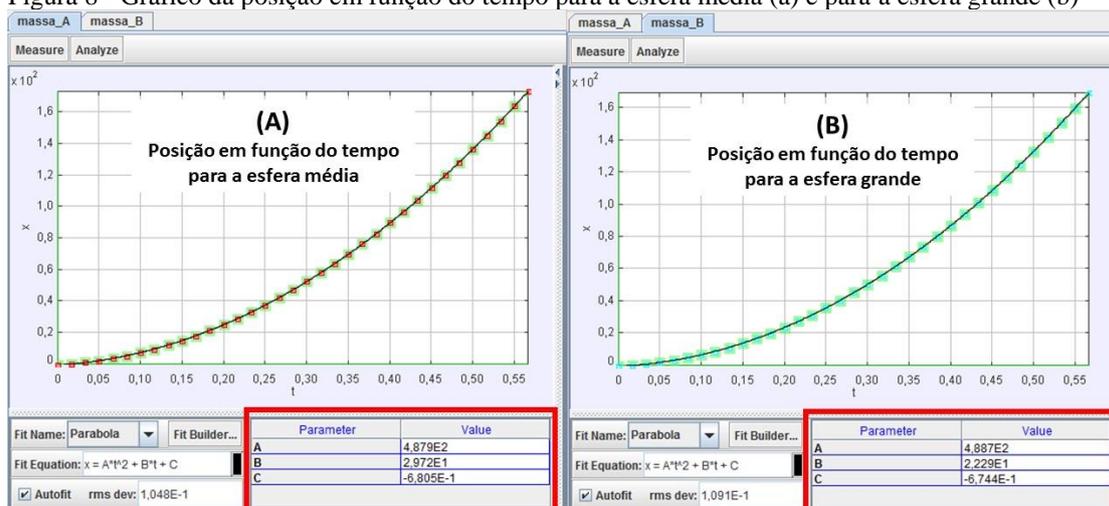
Ainda não havia ficado claro se as exceções às quais Lays se referiu no turno 195 do Quadro 11 incluíam as diferenças entre as massas e diâmetros das esferas. Como no turno 148

do Quadro 8 a aluna considerou a resistência do ar uma constante que não dependia das características das esferas, em vez de desconsiderar a massa no problema de queda livre, o professor achou necessário intervir para formalizar a interpretação do fenômeno.

Assim, na finalização (etapa 6, Quadro 2), a sugestão dada pelo professor para verificar se as massas e os diâmetros das esferas influíam nos respectivos movimentos foi no sentido de verificar graficamente como variam as posições com o tempo. Para tal, o professor demonstrou como o software *Tracker* permite fazer medidas das posições em cada instante do movimento de cada uma das esferas e, com esses valores, esboçar os gráficos das posições verticais em função do tempo. Com os dados organizados em tabela e gráfico, o professor fez o ajuste parabólico para que os alunos comparassem as equações dos gráficos, à luz do modelo físico que lhes foi apresentado.

Na Figura 8 podem ser observados os gráficos das curvas ajustadas aos pontos medidos para os movimentos das duas esferas da primeira atividade, aquela em que houve diferença nos tempos de queda. A pequena discrepância entre os parâmetros A e C das duas equações (respectivamente 0,16% e 0,90% relativamente ao valor-padrão de  $4,905 \text{ m/s}^2$ ), indicam que as esferas estiveram submetidas à mesma aceleração (parâmetro A) e partiram praticamente da mesma posição inicial (parâmetro C). Por outro lado, o parâmetro B, associado à velocidade inicial, mostra que a velocidade inicial da esfera grande (gráfico da Figura 8b), é 25% discrepante em relação à velocidade inicial da esfera Média (gráfico da Figura 8a). Portanto, confirma-se que na atividade 1, as esferas saíram da mesma posição inicial, foram submetidas à mesma aceleração, porém abandonadas em instantes diferentes.

Figura 8 - Gráfico da posição em função do tempo para a esfera média (a) e para a esfera grande (b)



Legenda: As unidades fundamentais de medida são o centímetro e o segundo.

Fonte: O autor, 2017.

Como a intervenção ocorreu em uma aula dentro do planejamento de um curso

de Física da primeira série, a finalização possibilitou a continuidade do aprendizado nas próximas intervenções, que não seriam objeto de pesquisa, com a vantagem de os alunos terem iniciado seus estudos numa situação concreta para chegar à interpretação abstrata do modelo físico.

### **Considerações finais**

Em nossa metodologia de ensino, as imagens estroboscópicas foram utilizadas para a observação pormenorizada do movimento, possibilitando uma confrontação entre os conhecimentos prévios dos alunos e o que eles constataram à luz da observação, que desencadeou as interações discursivas para a elaboração de uma explicação a partir do que foi observado. Por fim, a videoanálise contribuiu para sistematizar o conhecimento com a modelagem fenomenológica feita *on-line* e *on-time*. Assim, a investigação do movimento de queda dos corpos pelos alunos a partir da exibição de um vídeo previamente gravado, intermediada pelas imagens estroboscópicas e a videoanálise, evidenciou que os recursos de vídeo são ferramentas com potencial para um ensino por investigação.

Nos resultados apresentados percebemos que toda a construção de explicações para o que foi observado se deu a partir das interações discursivas, com afirmações fundamentadas em justificativas e julgamentos construídos logicamente pelos pares. Este resultado nos mostra que a proposta de ensino da queda dos corpos por um processo de investigação, com os recursos de vídeo, tem potencial para envolver os alunos na solução do problema proposto. Por outro lado, também verificamos a presença de indicadores de alfabetização científica em quase todas as falas dos alunos ao longo da intervenção. Com isso, confirmamos nossa hipótese de que há potencial nesses recursos para a promoção da alfabetização científica.

Dos indicadores de alfabetização científica presentes nas falas dos alunos, aproximadamente metade estavam relacionados ao entendimento da situação analisada (SASSERON; CARVALHO, 2008). Atribuímos esse resultado ao fato de que, em nossa proposta, utilizamos os recursos de vídeo para a resolução de um problema real, para o qual existem muitas variáveis e interações. Em nosso caso, isso ficou evidente na ocasião do planejamento da intervenção didática. Inicialmente, na realização das filmagens das esferas em queda a partir do abandono manual, as variáveis pensadas foram aquelas de natureza extensiva, como a massa, o diâmetro e o volume. Além dessas variáveis, também foram pensadas a interação gravitacional entre a massa das esferas e a massa da Terra, além da interação

resultante do contato entre a esfera e o ar atmosférico, ou seja, a resistência do ar, ainda que com efeito desprezível. Assim, não estava presente na ocasião da filmagem para a produção do material didático a não simultaneidade no abandono. Apesar desse efeito não ser observável quando o vídeo é reproduzido em tempo real, o potencial de observação detalhada do movimento com as imagens estroboscópicas e a videoanálise – para além do que normalmente se vê – fez com que a delimitação de variáveis/interações inicialmente pensadas fosse ampliada ainda na fase do planejamento da intervenção.

Do exposto acima, chegamos a duas conclusões: a primeira é que, para a articulação de uma proposta de ensino por investigação de um problema real, é importante que o docente tenha em mente todas as interações existentes no fenômeno e, com isso, possa estar melhor preparado para os caminhos possíveis para se atingir o objetivo de ensino; a segunda é que, quando se considera todas as interações possíveis num fenômeno a ser investigado, boa parte do tempo disponível será utilizado para a compreensão da situação analisada.

Outra conclusão é que, como a metodologia de ensino utilizada no planejamento da intervenção didática considera referenciais que são capazes de promover a interatividade entre os alunos e o fenômeno em estudo, as SEI e a estratégia POE, em grande parte do tempo as interações discursivas ocorreram entre os alunos, com poucas intervenções docentes que, quando ocorreram, foram no sentido de fomentar ainda mais as interações discursivas e a formulação de argumentos dos discentes. Diferente do que ocorre no laboratório formal, uma atividade prática capaz de desafiar as concepções prévias dos alunos, encorajando-os a reorganizarem suas teorias pessoais, que considera a inter-relação entre fatores da experiência pessoal, da linguagem e da socialização de forma interativa e colaborativa (DRIVER et al, 1999), fomenta uma aprendizagem entre pares e a construção do conhecimento científico. Percebemos aqui uma característica importante na proposta de ensino por investigação: a mudança do papel docente de transmissor do conhecimento pronto, construído pelas gerações anteriores, para um papel de promotor do conhecimento produzido *in-loco*.

Por fim, o fato de os recursos terem origem em vídeos previamente produzidos nos permite inferir que a gama de possibilidades de movimentos a serem filmados e depois transformados em material didático é grande, o que abre um campo de oportunidades futuras tanto para o Ensino de Ciências quanto para a Pesquisa em Educação em Ciências.

## Referências

- BASSOLI, F. Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciência(s): mitos, tendências e distorções. *Ciência & Educação*. v. 20, n. 3, p. 579-593, 2014.
- BROWN, D. e COX, A.J. Innovative Uses of Video Analysis. *The Physics Teacher*, v.47, p.145-150, 2009.
- BROWN, D. Video modeling: combining dynamic model simulations with traditional video analysis. *American Association of Physics Teachers (AAPT) Summer Meeting*, Edmonton, 2008. (Software disponível em [www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/](http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/). Acessado em 28 de novembro de 2017)
- CANIATO, R. *Mecânica: Projeto Brasileiro para o Ensino de Física*. 1 Ed. Campinas: Fundação tropical de pesquisas e tecnologia, 1979.
- \_\_\_\_\_. *Rodolpho Caniato*. Campinas, SP: 19, jul. 2011. Disponível em: <<http://rodolphocaniato.blogspot.com.br/2011/07/blog-post.html>>. Acesso em: 22 nov. 2017.
- CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de Sequências de Ensino Investigativas. *Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula*. In: \_\_\_\_\_ (Org.). São Paulo: Ed. Cengage learning, 2013. Cap.1, p.1-20.
- CARVALHO, P.S., et al. How to Use a Candle to Study Sound Waves. *The Physics Teacher*, 2013, 51, p. 398-399.
- CARVALHO, A.M.P.; TINOCO, S.C. O Ensino de Ciências como 'enculturação'. In: CATANI, D.B.; VICENTINI, P.P., (Orgs.). *Formação e autoformação: saberes e práticas nas experiências dos professores*. São Paulo: Escrituras, 2006. P.251-255.
- DIAS, M. A.; BARROS, S. S.; AMORIM, H. S. Produção de fotografias estroboscópica sem lâmpada estroboscópica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n.3, p.492-513, 2009.
- DIAS, M.A., CARVALHO, P. S. e VIANNA, D. M. The Image Modeling for teaching Newton's Laws with the Ollie Trick. *Physics Education*, 51(4), p.1-6, 2016.
- DIAS, M.A., CARVALHO, P. S. e RODRIGUES, M. How to determine the Centre of Mass of bodies from Image Modelling. *Physics Education*, v.51, n.2, p.1-7, 2016.
- DIAS, M.A., et al. The behaviour of the Centre of Mass in a Ballerina while performing a *Grand Jeté*. *Physics Education*, 2017. Aceito para publicação.
- DRIVER, R., et al. Construindo conhecimento científico na sala de aula. *Química nova na escola*, n. 9, p.31-40, 1999.
- JESUS, V.L.B.; BARROS, M.A.J. As múltiplas faces da dança dos pêndulos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.36, n.4, 2014.
- JESUS, V.L.B.; SASAKI, D.G.G. O experimento didático do lançamento horizontal de uma esfera: Um estudo por Videoanálise. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n.1, 2015.

- KEARNEY, M. Classroom Use of Multimedia-Supported Predict–Observe–Explain Tasks in a Social Constructivist Learning Environment. *Research in Science Education*, v.34, p.427–453, 2004.
- KUÇUKOZER, H. The effects of 3D computer modelling on conceptual change about seasons and phases of the Moon. *Physics Education*, v.43, p.632-636, 2008.
- LEMKE, J. L. Investigar para el futuro de la educación científica: novas formas de aprender, novas formas de vivir. *Enseñanza de las ciencias*, v.24, p.5-12, 2006.
- MALHEIRO, J. M. S. e FERNANDES, P. O recurso ao trabalho experimental e investigativo: percepções de professores de ciências. *Investigações em ensino de ciências*, v.20, n.1, p.79-96, 2015.
- PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. *Física: Parte I*. São Paulo: Editora Universidade de Brasília, 1965.
- RAKKAPAO, S. et al. Evaluation of POE and instructor-led problem-solving approaches integrated into force and motion lecture classes using a model analysis technique. *European Journal of Physics*, v.35, p.1-10, 2014.
- RODRIGUES, M. e CARVALHO, P. S. Teaching optical phenomena with Tracker. *Physics Education*, v.49, n.6, p.671-677, 2014.
- SANTOS, R. J. e SASAKI, D. G. G. Uma metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de mecânica em educação de jovens e adultos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n.3, 2015.
- SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.13, n.3, p.333-352, 2008.
- \_\_\_\_\_. Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de alfabetização científica e o padrão de toulmin. *Ciência & Educação*, v. 17, n. 1, p. 97-114, 2011.
- TAO, P.K.; GUNSTONE, R. F. The Process of Conceptual Change in Force and Motion during Computer-Supported Physics Instruction. *Journal of Research In Science Teaching* v.36, n.7, p.859–882, 1999.
- WHITE, R.; GUNSTONE, R., *Probing Understanding*. New York: Falmer Press, 1992.

# ANEXO 1 – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

---

## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** A Modelagem de Imagem como recurso para intervenções didáticas de investigação

**Pesquisador:** Deise Miranda

Vianna **Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 53654916.8.0000.5248

**Instituição Proponente:**FUNDACAO OSWALDO CRUZ

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:**

1.610.751

### Apresentação do Projeto:

A Modelagem de Imagem é uma estratégia didática que, a partir de um vídeo, utiliza como recursos as imagens estroboscópicas e a vídeoanálise. O projeto visa apresentar a contribuição da estratégia didática da Modelagem de Imagem no aprendizado de ciências do Ensino Médio, enfocando o fenômeno da Física sobre movimento. Nas intervenções didáticas serão utilizadas como metodologias de ensino a proposição de Sequências de Ensino Investigativas (SEI), da professora Anna Maria Pessoa de Carvalho, em uma estrutura de ensino interativo POE (Previsão-Observação-Explicação). A metodologia de pesquisa envolve: o registro audiovisual das interações entre os alunos e dos alunos com o professor, durante uma aula, para a posterior transcrição e análise dos discursos. Tem-se o propósito de identificar padrões de argumentação, objetivando o entendimento sobre a construção do conhecimento científico. Os conteúdos científicos serão os tradicionalmente abordados no ensino de Física. Os temas serão contextualizados nas práticas esportivas que muitos dos alunos vivenciam na escola ou fora dela. O público-alvo serão alunos da primeira série do Ensino Médio do campus Nilópolis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, IFRJ. Serão no total cinco intervenções didáticas. Durante as intervenções, as discussões entre os grupos serão registradas em áudio. Sobre a mesa de cada grupo será colocado um gravador digital de áudio. A sala de aula como um

todo será filmada com uma única câmera filmadora. O material de áudio coletado será analisado e os trechos cujos discursos indicarem haver construção do conhecimento durante a interação entre os alunos e os grupos serão transcritos. As escolhas dos trechos de áudio para a transcrição e análise serão norteadas por questões como: houve o desenvolvimento de um pensamento crítico; os alunos sustentam suas opiniões em dados e provas para chegarem a suas conclusões; os argumentos identificam relações entre causa e efeito; no discurso dos alunos existe relação entre as três competências científicas descritas por Jimenez Aleixandre? A existência dessas estruturas lógicas de argumentação são indícios de que os alunos aprenderam os conteúdos específicos da disciplina, mas que também tiveram oportunidade de incorporar uma postura científica, pois ao defender seus pontos de vista acerca de um fenômeno físico, apoiam suas justificativas na utilização de dados obtidos a partir da observação e da interação; se refutam ou corroboram, reformulando novas justificativas até que se chegue a uma conclusão.

### **Objetivo da Pesquisa:**

Objetivo específico: investigar a contribuição da utilização da Modelagem de Imagem para a aprendizagem científica por meio do desenvolvimento de intervenções didáticas com metodologia de ensino interativa e investigativa nas aulas de mecânica do Ensino Médio.

### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Riscos:

foi informado que a pesquisa será realizada com alunos das séries iniciais do ensino médio na própria sala de aula. De uma maneira geral, se trata de alunos menores de idade. A escola já autorizou o desenvolvimento da pesquisa mas, a fim de preservar os direitos individuais, duas providências serão tomadas:

- i) A descaracterização da fisionomia dos alunos que forem filmados nas práticas esportivas durante a produção das FED dos seus movimentos, ou a autorização por escrito, dos pais caso o aluno seja menor de idade, da divulgação da sua imagem no texto da tese.
- ii) Registrar apenas em áudio os diálogos durante a atividade em sala, para que depois os mesmos sejam transcritos para o texto da tese. O registro em vídeo será de toda a sala de aula para registrar as interações. Assim poderemos garantir a preservação do direito de imagem dos participantes.

Benefícios: foi informado que a confirmação do potencial da Modelagem de Imagem para o ensino da mecânica, possibilitará a inclusão dessa estratégia de ensino no cotidiano das atividades de

laboratorio. Ha possibilidade de se produzir um grande numero de material para o estudo de movimentos do cotidiano e disponibilizar gratuitamente. Com isso, os professores que se

### **Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Trata-se de uma tese de doutorado da PG EBS do IOC que revela clareza nos fundamentos, nos objetivos e procedimentos metodológicos. O INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO

RIO DE JANEIRO aparece como co-participante do projeto

### **Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Foram incluídos:

- Folha de rosto assinada pela orientadora e direção do IOC
- projeto detalhado
- TCLE, incorporou nome da orientadora e a frase: "Este Termo é gerado e assinado em duas vias de igual teor. Você receberá uma via". Refere os objetivos projeto, sigilo, confidencialidade, opção de retirada e participação voluntária, sem custo financeiro. Não diferencia TCLE maiores e menores de 18 anos. Substituir por termo de assentimento e incluir nome e assinatura do responsável.
- Termo de autorização para realização da pesquisa em papel timbrado
- Foi incluído no cronograma a frase: "O PROJETO SÓ SERÁ EXECUTADO APÓS AUTORIZAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA"
- Orçamento foi referido no PB Informações básicas.

### **Recomendações:**

- Substituir o TCLE por termo de assentimento e incluir o nome e assinatura do responsável. - incluir termos sobre autorização de uso de imagem na tese

### **Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

As Pendências foram atendidas

### **Considerações Finais a critério do CEP:**

Diante do exposto, o Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto Oswaldo Cruz (CEP FIOCRUZ/IOC), em sua 216ª Reunião Ordinária, realizada em 28.06.2016, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS 466/12, manifesta-se pela aprovação do projeto de pesquisa proposto.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_660984.pdf	23/05/2016 16:17:13		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TERMO_ASSENTIMENTO_ATUALIZADO.doc	23/05/2016 16:16:37	Deise Miranda Vianna	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_MARCO_ATUALIZADO.doc	23/05/2016 16:15:43	Deise Miranda Vianna	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA_ATUALIZADO.docx	23/05/2016 16:14:17	Deise Miranda Vianna	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Termo_de_autorizacao_ATUALIZADO.pdf	26/02/2016 17:39:02	Deise Miranda Vianna	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	TermoConsentimentoEscolaMarco.pdf	11/02/2016 17:57:26	Deise Miranda Vianna	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoPesquisaMarco.pdf	11/02/2016 17:56:50	Deise Miranda Vianna	Aceito
Cronograma	CronogramaPesquisaMarco.pdf	11/02/2016 17:37:48	Deise Miranda Vianna	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_MARCO.pdf	11/02/2016 17:37:12	Deise Miranda Vianna	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRostoMarcoDias.pdf	11/02/2016 17:28:58	Deise Miranda Vianna	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

RIO DE JANEIRO, 28 de Junho de 2016

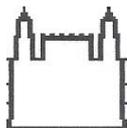
---

**Assinado por:**

**José Henrique da Silva Pilotto  
(Coordenador)**

## ANEXO 2 – TERMO DE CONSENTIMENTO PARA REALIZAÇÃO DA PESQUISA NO CAMPUS NILÓPOLIS DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO

---



FIOCRUZ — Fundação Oswaldo Cruz Instituto Oswaldo Cruz — IOC  
Curso de Pós-Graduação Scrito Senso em Ensino de Biociências e Saúde

### TERMO DE CONSENTIMENTO/ INSTITUIÇÕES ESCOLARES

Projeto: "A Modelagem de Imagem como recurso para intervenções didáticas de investigação".

Responsável: Marco Adriano Dias (pesquisador)

ProP. Dr<sup>a</sup>. Deise Miranda Vianna

Prof. Dr. Paulo Simeão de Carvalho

**CM Nome da Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro — Campus Nilópolis Endereço: Rua Lucio Tavares, 1045 Centro. Nilópolis. Rio de Janeiro Responsável pela Instituição: Professor Marcelo Lacerda (Diretor de Ensino)**

RG do Responsável: 28987800-3 Órgão Emissor: DETRAN-RJ

Declaro ter pleno conhecimento que:

- Este estudo não fará mal à saúde dos funcionários ou dos estudantes dessa Instituição;
- Esta pesquisa tem por objetivo desenvolver um material para ser utilizado pelos educadores da área de Ensino de Ciências como estratégia de ensino;
- Não gastarei nada para participar dessa pesquisa;
- Terei a liberdade de retirar meu consentimento e deixar de participar do estudo;
- A participação dos funcionários ou dos estudantes dessa Instituição será livre e individual, sendo excluídos que desejarem não participar; Nenhum nome será divulgado durante as etapas desse estudo, assim como nenhuma imagem será veiculada em quaisquer meios de comunicação ou na internet;
- poderei obter informações gerais sobre estudo quando desejar. O pesquisador poderá ser contatado através dos telefones (21) 997299632 e (21) 2148-5084 ou pelo e-mail.

Nilópolis, 25 de janeiro de 2016.



Assinatura do Diretor

Marcelo Bittencourt de Lacerda  
Diretor de Ensino  
SIAPE 2.556.729 IFRJ



Assinatura da primeira testemunha

MARCELA MACHADO DE FREITAS  
Psicóloga - CoTP



Assinatura do responsável pelo projeto

Danielly Pacheco da Costa Pinheiro

Assinatura da segunda testemunha

chefe de gabinete - DDC Nil.

## ANEXO 3 – TERMO DE ASSENTIMENTO PARA PARTICIPAÇÃO NA PESQUISA

---



FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ – FIOCRUZ  
Instituto Oswaldo Cruz  
Escola de Biociências e Saúde  
Pós-Graduação em Ensino de Biociências e Saúde

### TERMO DE ASSENTIMENTO

Você está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar da pesquisa **A Modelagem de Imagem como recurso para intervenções didáticas de investigação**. O objetivo deste estudo é verificar como uma metodologia de ensino de Física que utiliza vídeos e fotografias de corpos em movimento contribui para a aprendizagem científica.

O motivo que nos leva a estudar esse assunto é a necessidade de modernizar metodologicamente o ensino na educação básica e, assim, contribuir para uma melhor aprendizagem da física e da ciência por parte dos alunos. Para este estudo adotaremos os seguintes procedimentos: durante as aulas de física o professor utilizará como material didático os vídeos e as fotografias previamente produzidos; os alunos serão organizados em grupos e, durante a aula, os diálogos de cada grupo serão registrados em um gravador digital sem a identificação dos alunos; os áudios serão analisados e as partes que evidenciarem a construção do conhecimento serão transcritas na parte escrita da pesquisa, sem que os alunos sejam identificados por seus nomes.

Para participar deste estudo, o responsável por você deverá autorizar e assinar um termo de consentimento. Você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Você será esclarecido(a) em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. O responsável por você poderá retirar o consentimento ou interromper a sua participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido(a) pelo pesquisador que irá tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Você não será identificado em nenhuma publicação. Este estudo apresenta risco mínimo, isto é, o mesmo risco existente em atividades rotineiras como conversar, tomar banho, ler etc. Apesar disso, você tem assegurado o direito a ressarcimento ou indenização no caso de quaisquer danos eventualmente produzidos pela pesquisa.

Os resultados estarão à sua disposição quando finalizada a pesquisa. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a permissão do responsável por você. Os dados e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 anos, e após esse tempo serão destruídos. Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma cópia será arquivada pelo pesquisador responsável, e a outra será fornecida a você.

Os benefícios almejados com os resultados da pesquisa são o desenvolvimento de recursos didáticos e de metodologias de ensino que facilitam a aprendizagem científica, tão importante para cidadãos atuantes na era do conhecimento e da tecnologia que vivemos.

Eu, \_\_\_\_\_, aluno do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – IFRJ, sob a matrícula \_\_\_\_\_, fui informado(a) dos objetivos do presente estudo de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento poderei solicitar novas informações, e o meu responsável poderá modificar a decisão de participar se assim o desejar. Tendo o consentimento do meu responsável já assinado, declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste termo de assentimento e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Nilópolis, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2016 .

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) menor

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) pesquisador(a)

Em caso de dúvidas com respeito aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar:

CEP - COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ - FIOCRUZ  
AVENIDA BRASIL, 4 036 – SALA: 705 (PRÉDIO DA EXPANSÃO) – MANGUINHOS, RJ – CEP: 21.040-360 – TELS: (21)  
3882-9011 FAX: (21) 2561-4815. E-MAIL: CEPFIOCRUZ@IOC.FIOCRUZ.BR

-PESQUISADORA RESPONSÁVEL: PROFª. DRª. DEISE MIRANDA VIANNA  
INSTITUTO DE FÍSICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – IF/UFRJ. ILHA DO FUNDÃO - CT - BLOCO A - SALA  
307. CIDADE UNIVERSITÁRIA. RIO DE JANEIRO. E-MAIL: DEISEMV@IF.UFRJ.BR -PESQUISADOR DOUTORANDO

PROF. MS. MARCO ADRIANO DIAS  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO – IFRJ/CAMPUS NILÓPOLIS  
RUA LUCIO TAVARES, 1045 CENTRO. NILÓPOLIS. RIO DE JANEIRO. E-MAIL: [MARCO.DIAS@IFRJ.EDU.BR](mailto:MARCO.DIAS@IFRJ.EDU.BR)

## ANEXO 4 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO

---



FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ – FIOCRUZ

Instituto Oswaldo Cruz

Escola de Biociências e Saúde

Pós-Graduação em Ensino de Biociências e Saúde

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(DE ACORDO COM AS NORMAS DA RESOLUÇÃO Nº 466, DO CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE

DE 10 DE OUTUBRO DE 2012)

O aluno(a) \_\_\_\_\_, do qual você é responsável, está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa de Pós-graduação na modalidade de Doutorado com o título **A Modelagem de Imagem como recurso para intervenções didáticas de investigação**, pelo curso de Ensino de Biociências e Saúde da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) com o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, campus Nilópolis.

O objetivo desta pesquisa, neste momento, é de investigar as potencialidades da utilização da Modelagem de Imagens como estratégia de ensino em intervenções didáticas nas aulas de física (mecânica) do Ensino Médio. A Modelagem de Imagem é uma estratégia didática para o ensino de física que faz uso de fotografias e vídeos que registram os movimentos de corpos, para a aprendizagem científica.

As informações obtidas através desta pesquisa serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre a participação do aluno. Não será feita nenhuma citação a nomes, endereços ou qualquer forma de identificação e você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o endereço do pesquisador principal, podendo tirar suas dúvidas sobre a pesquisa e sua participação, agora ou em qualquer momento. O resultado final da pesquisa será divulgado na Tese de doutorado do pesquisador Marco Adriano Dias.

A participação na presente pesquisa não trará riscos à integridade física, psicológica e moral dos participantes, além daqueles riscos existentes numa aula convencional. A participação do aluno é desejável, mas não obrigatória, e caso ele não possa mais participar da pesquisa por algum motivo particular, você poderá a qualquer momento desistir e retirar seu consentimento sem que o aluno seja prejudicado.

A participação do aluno na pesquisa contribuirá para a melhoria do ensino de Ciências no Brasil e a escola receberá posteriormente uma cópia do material produzido. Participar dessa pesquisa não implicará em nenhum custo financeiro para você, e, como voluntário, você também não receberá qualquer valor em dinheiro como compensação pela participação do(a) aluno(a) do qual é responsável.

Este Termo é gerado e assinado em duas vias de igual teor. Você receberá uma via.

Pesquisadores:

- Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Deise Miranda Vianna (Pesquisadora responsável)

Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Ilha do Fundão - CT - Bloco A  
- sala 307.

Cidade Universitária. Rio de Janeiro.

- Prof. Ms. Marco Adriano Dias (aluno de doutorado)

Rua Lucio Tavares, 1045 Centro. Nilópolis. Rio de Janeiro.

Comitê de Ética<sup>1</sup>

“Declaro estar ciente das informações constantes neste Termo de Consentimento livre e esclarecido, e entender que serei resguardado pelo sigilo absoluto de meus dados pessoais e de minha participação na pesquisa. Poderei pedir, a qualquer tempo, esclarecimentos sobre esta pesquisa; recusar a dar informações que julgue prejudiciais a minha pessoa, solicitar a não inclusão em documentos de quaisquer informações que já tenha fornecido e desistir, a qualquer momento, de participar da pesquisa”.

Nome do aluno: \_\_\_\_\_

Nome do Responsável pelo aluno: \_\_\_\_\_

Assinatura do Responsável:

\_\_\_\_\_

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

<sup>1</sup> Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos - CEP FIOCRUZ/IOC Instituto Oswaldo Cruz / Fundação Oswaldo Cruz. Avenida Brasil, 4.036 - sala 705 (Expansão)Manguinhos - Rio de Janeiro-RJ - CEP: 21.040-360. Tel.: (21) 3882-9011. e-mail: cepfiocruz@ioc.fiocruz.br